



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



iiama

Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente

Implementación de un modelo hidrológico superficial distribuido de agua, sedimentos y N en la cuenca vertiente al Mar Menor

J.F. Sepúlveda, C. Puertes, A. Lidón y F. Francés

*Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
(IIAMA)*

Universitat Politècnica de València

- ❑ Introducción
- ❑ La herramienta: modelo TETIS
- ❑ Estimación de parámetros
- ❑ Calibración y validación
- ❑ Conclusiones

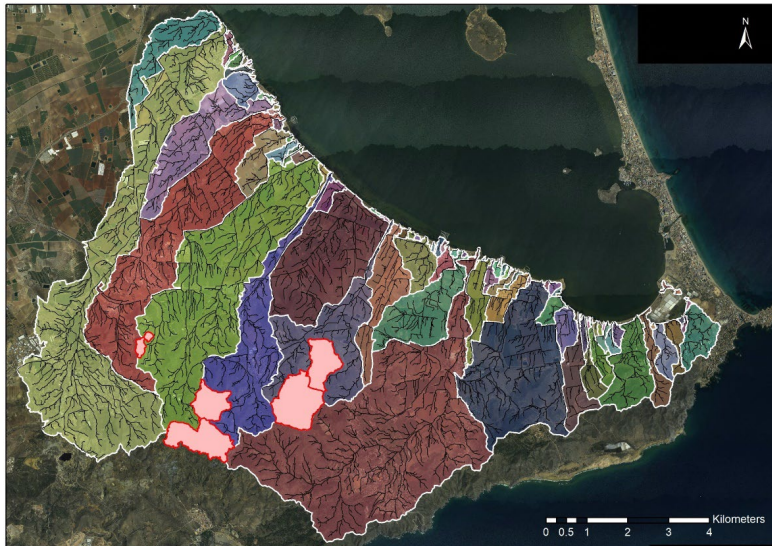


Introducción

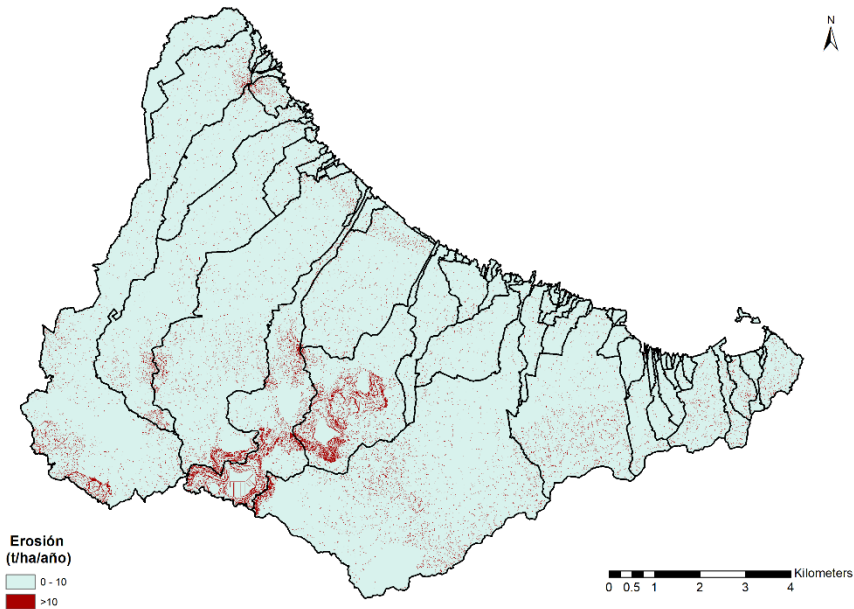
- ❑ Degradación severa de calidad de agua en Laguna del Mar Menor en últimas décadas debido a excesivos aportes de:
 - Nutrientes
 - Sedimentos
- Generando eutrofización y episodios de anoxia
- ❑ Causa fundamental: explosión de agricultura intensiva con uso desregulado de fertilizantes nitrogenados y poca protección del suelo



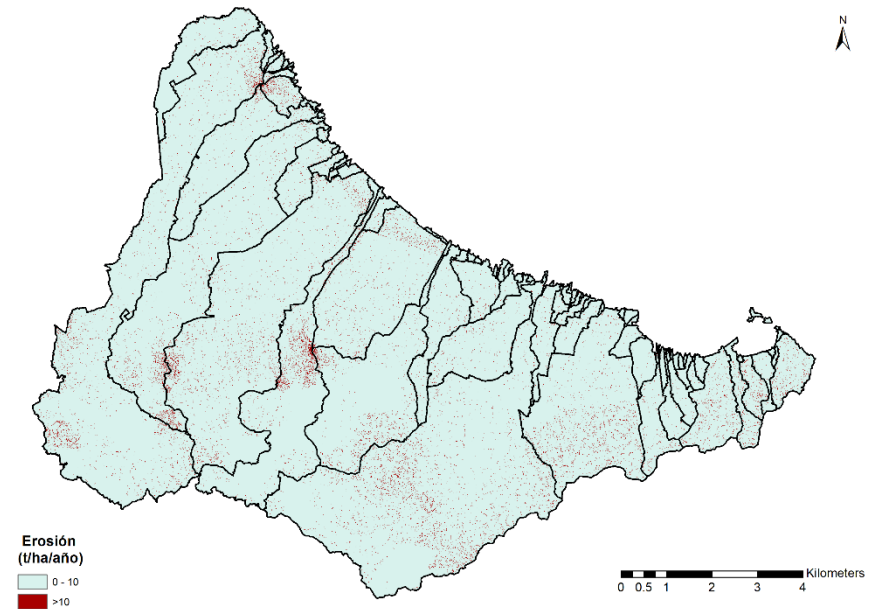
- ❑ Propuesta y análisis de la **efectividad** de diferentes actuaciones (12) en la reducción de las aportaciones de sedimentos y compuestos nitrogenados a la laguna
- ❑ Limitación a las **cuencas del sur**



□ Resultados sedimentos

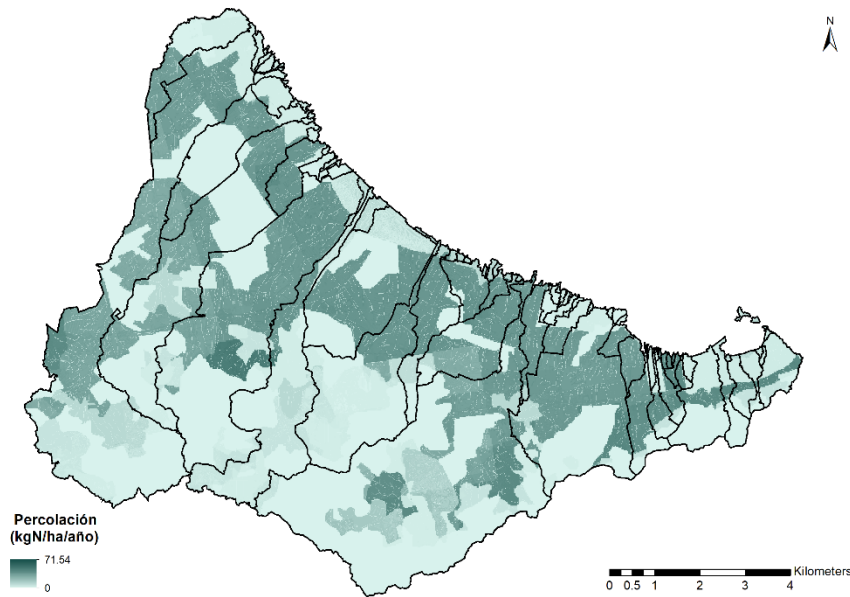


Erosión actual

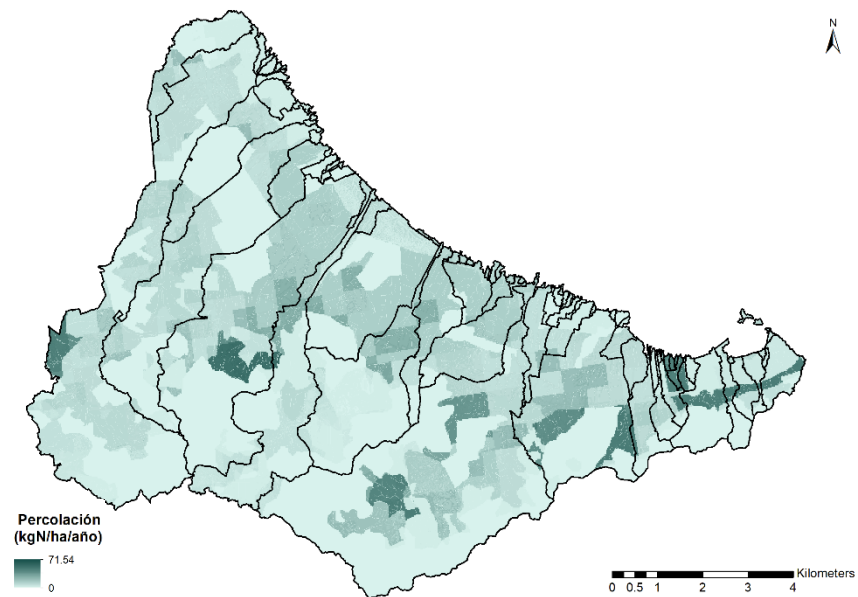


Erosión reforestación

□ Resultados Nitrógeno en percolación

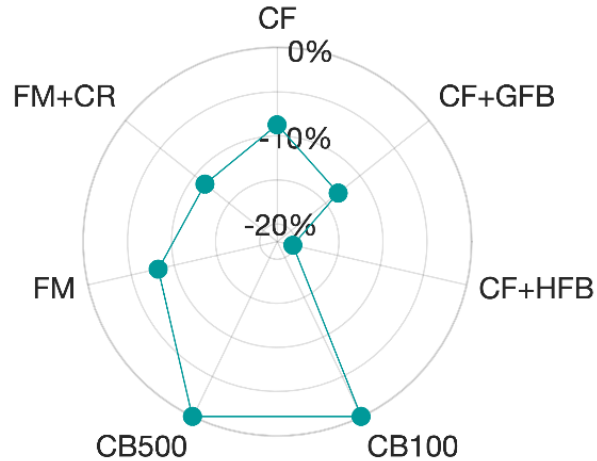


Percolación de
nitrógeno actual

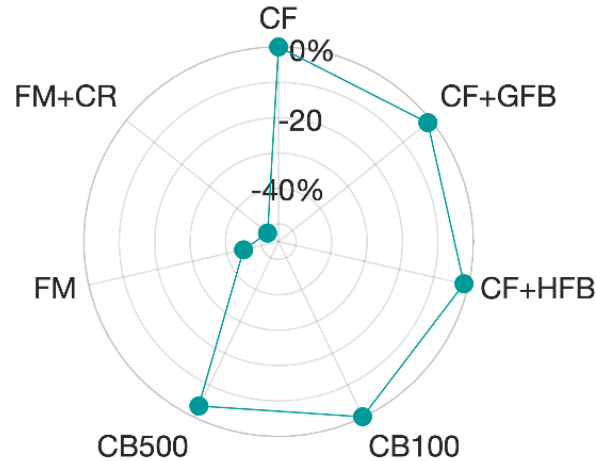


Percolación de
nitrógeno abono Ley

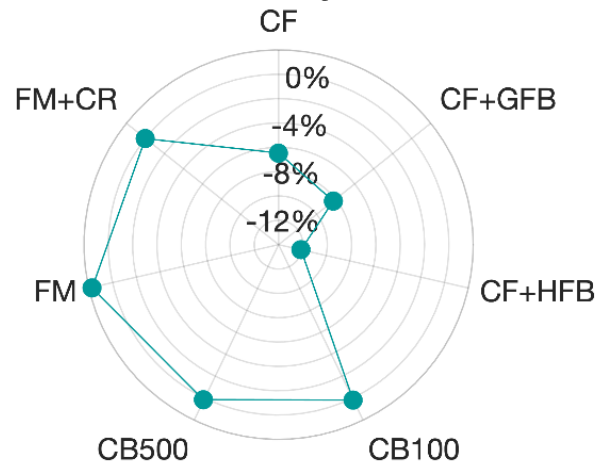
Surface nitrogen export



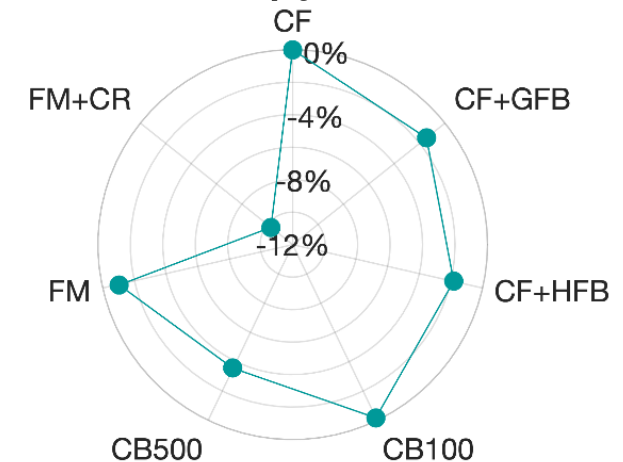
Nitrogen leaching



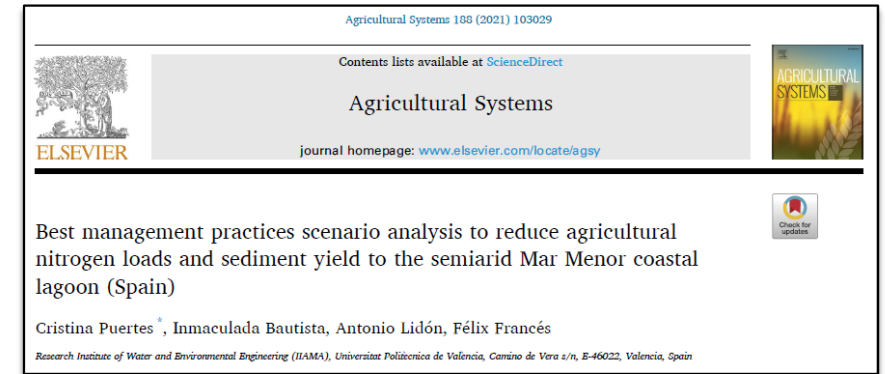
Sediment yield



Crop yield



CF: Cultivo en contornos
CF+GFB: Cultivo en contornos y barreras vegetales ligeras
CF+HFB: Cultivo en contornos y barreras vegetales densas
CB100: Buffer costero de 100 m
CB500: Buffer costero de 500 m
FM: Control de fertilizantes y rotación de 3 cultivos
FM+CR: Control de fertilizantes y rotación de 2 cultivos

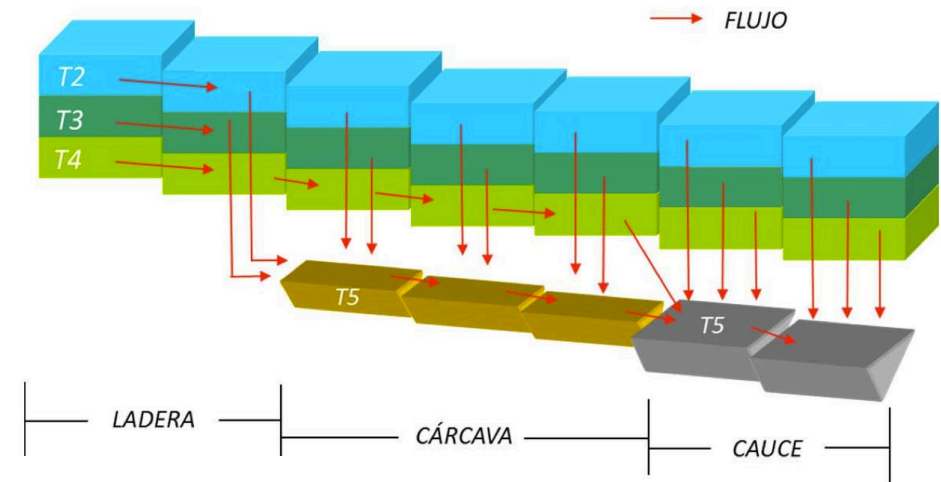


Objetivos actuales: modelo superficial

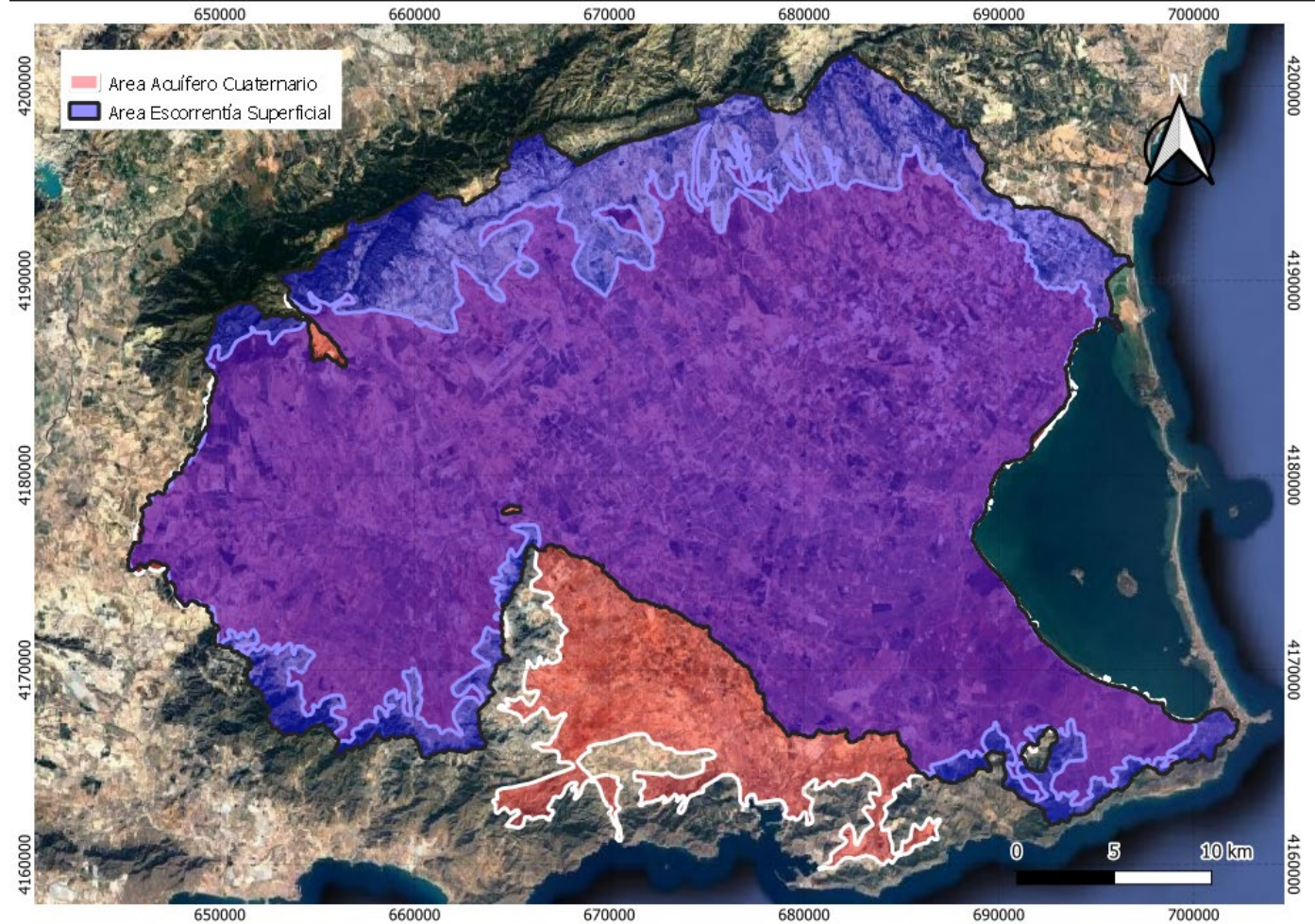
- ❑ Predicción corto plazo (días) de:
 - Agua, sedimentos y N
- ❑ Sólo modelo superficial
 - Caudales, sedimentos y N en puntos de descarga
 - Recarga agua y N al acuífero Campo de Cartagena
- ❑ Escalas:
 - Δt diario
 - 25 m



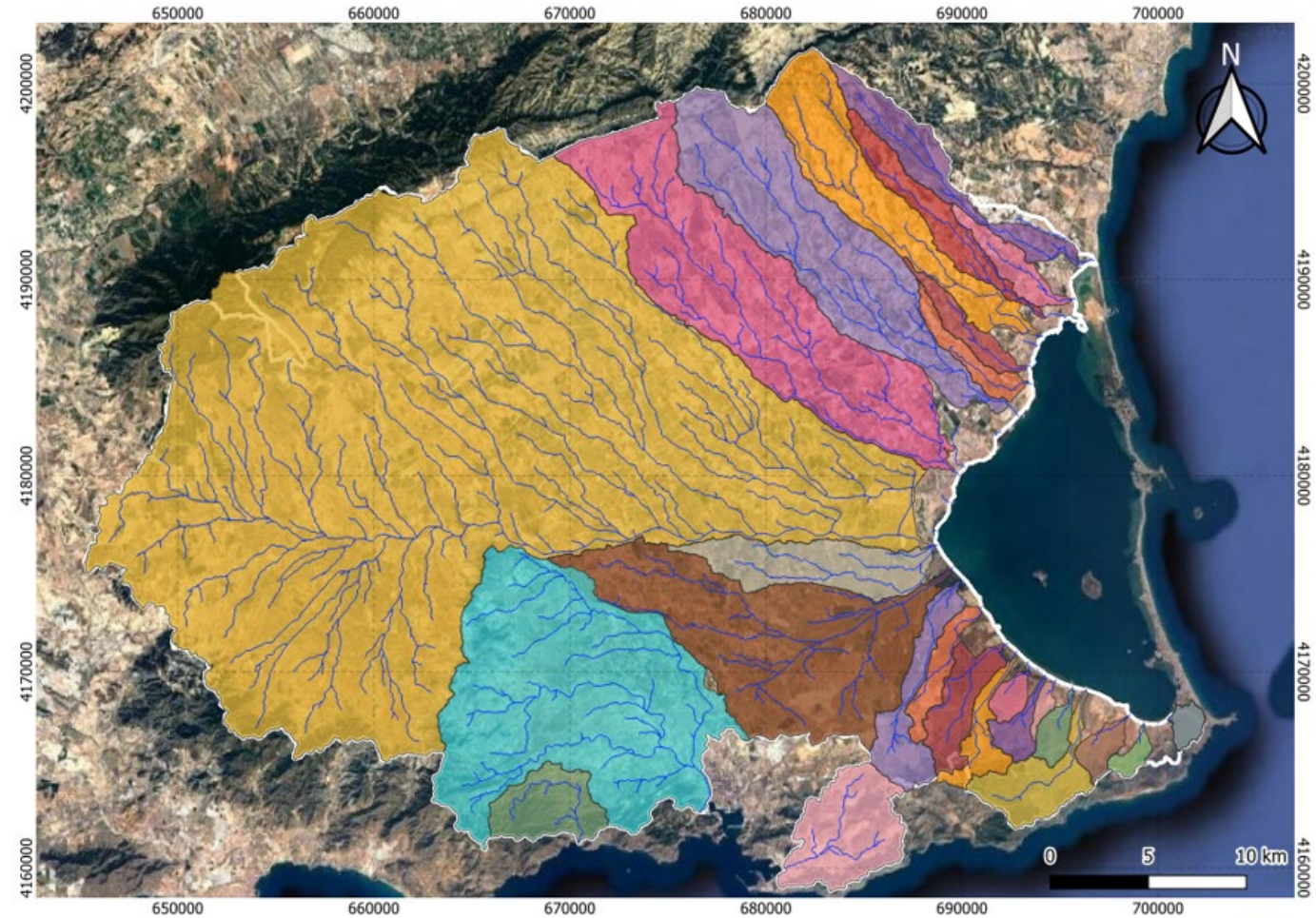
- ❑ El uso de un modelo **distribuido** resulta imprescindible para:
 - Incorporar la variabilidad espacial inputs y parámetros
 - Permitir diferenciar recargas en el espacio
- ❑ Parámetros de **base física** facilita:
 - Estimación de parámetros
 - Los cambios de usos del suelo
 - Del pasado (validación y entender)
 - A lo largo de la vida del OMM (predicción)
 - Los cambios de cada escenario actuación futura
- ❑ Un modelo **integral** agua-sed-N-agric $\leq$ interacciones entre procesos



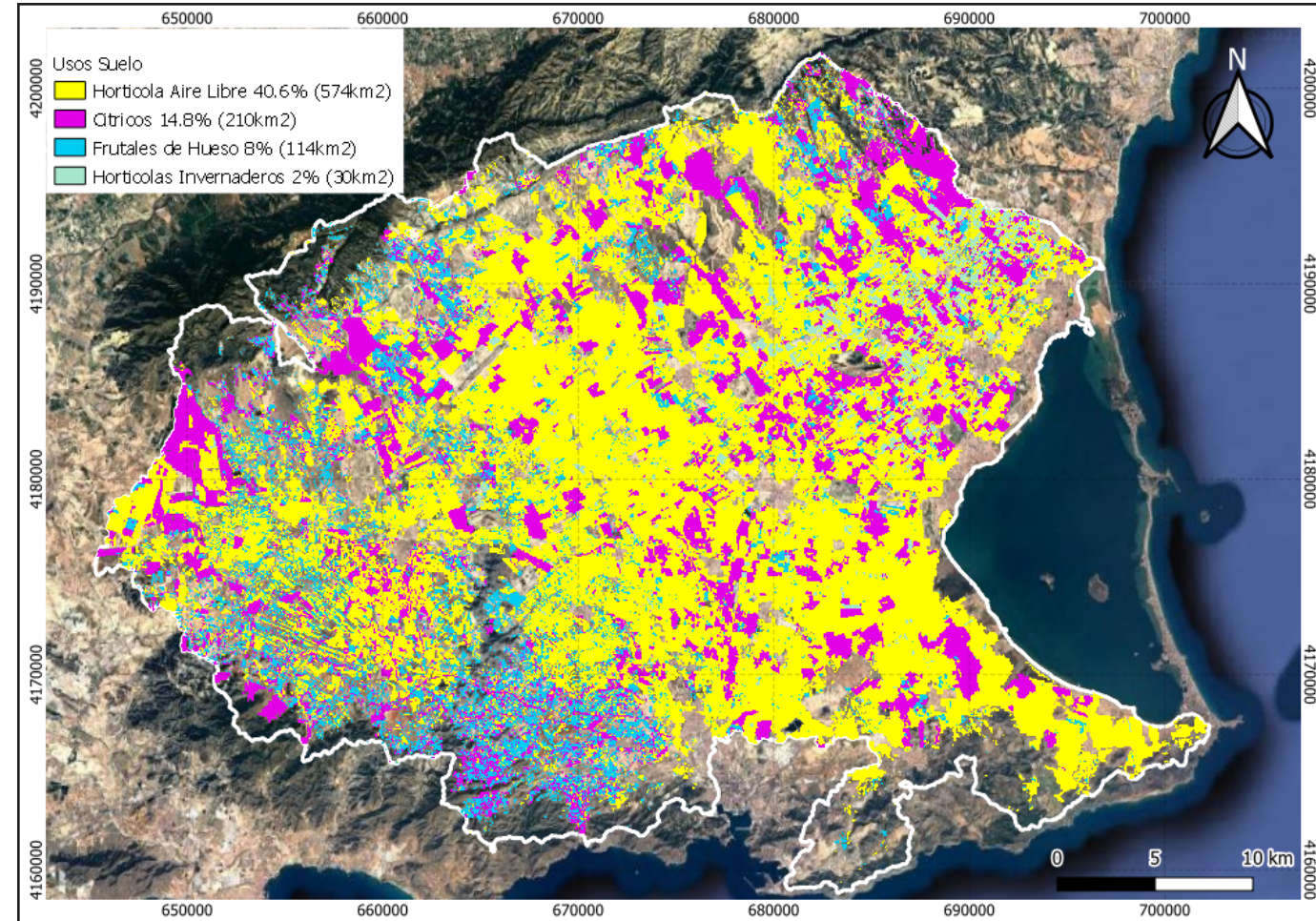
- ❑ Aquellas cuencas que:
 - descargan directamente al MM
 - o con recarga al acuífero del Campo de Cartagena



- ❑ Superficie total de ~1600 km²
 - 22 cuencas que descargan directamente al MM
 - 3 cuencas externas:
 - Rambla Portús
 - Rambla Benipila
 - Rambla Charco



- ❑ Clima mediterráneo semiárido
 - Precipitación: 280 mm/año
 - ET0: 1060 mm/año
- ❑ 65.4% superficie regada y fertilizada
 - 42.6% hortícolas de regadío
 - 14.8% cítricos
 - 8% frutales de hueso

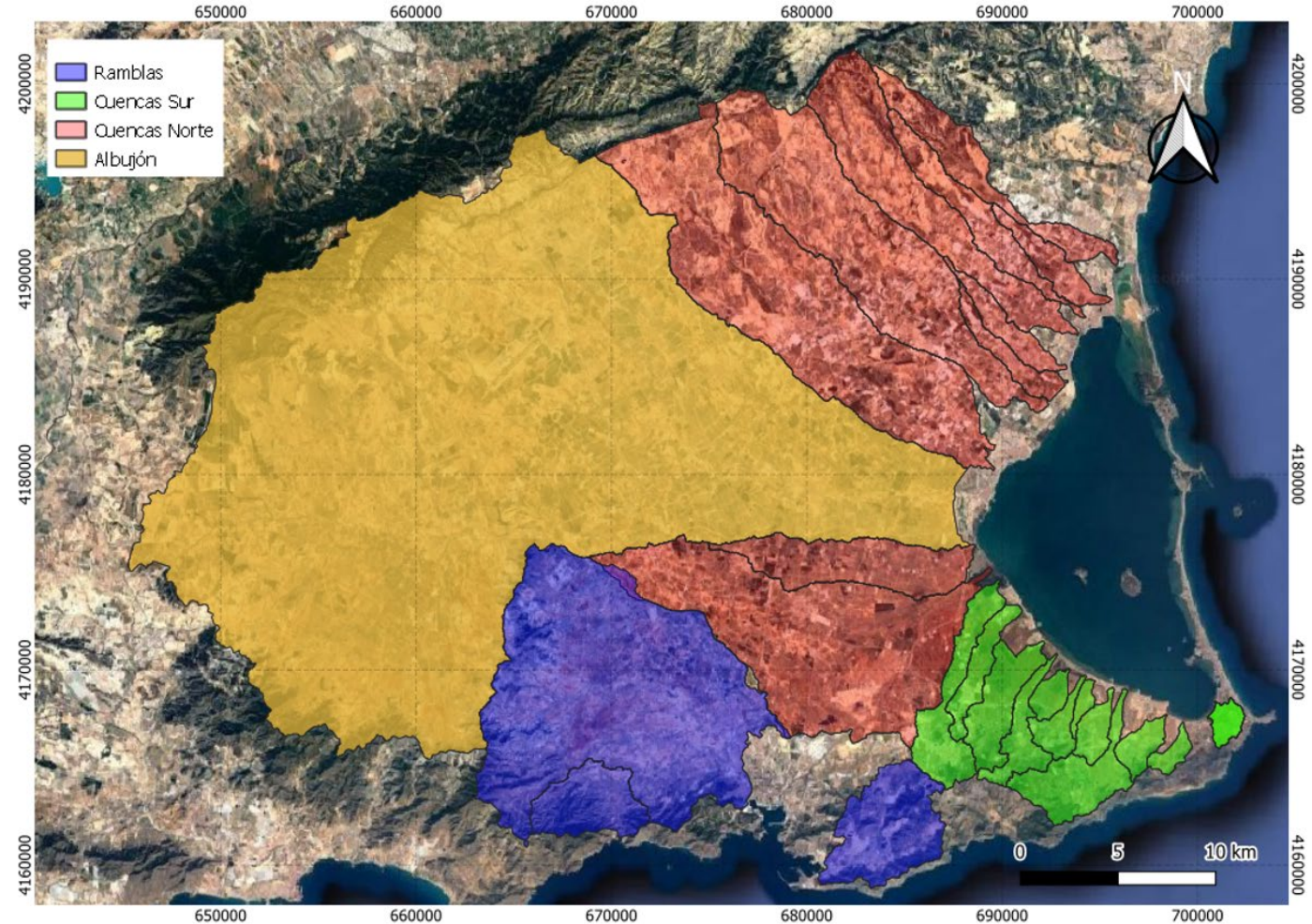


❑ División en 4 modelos TETIS:

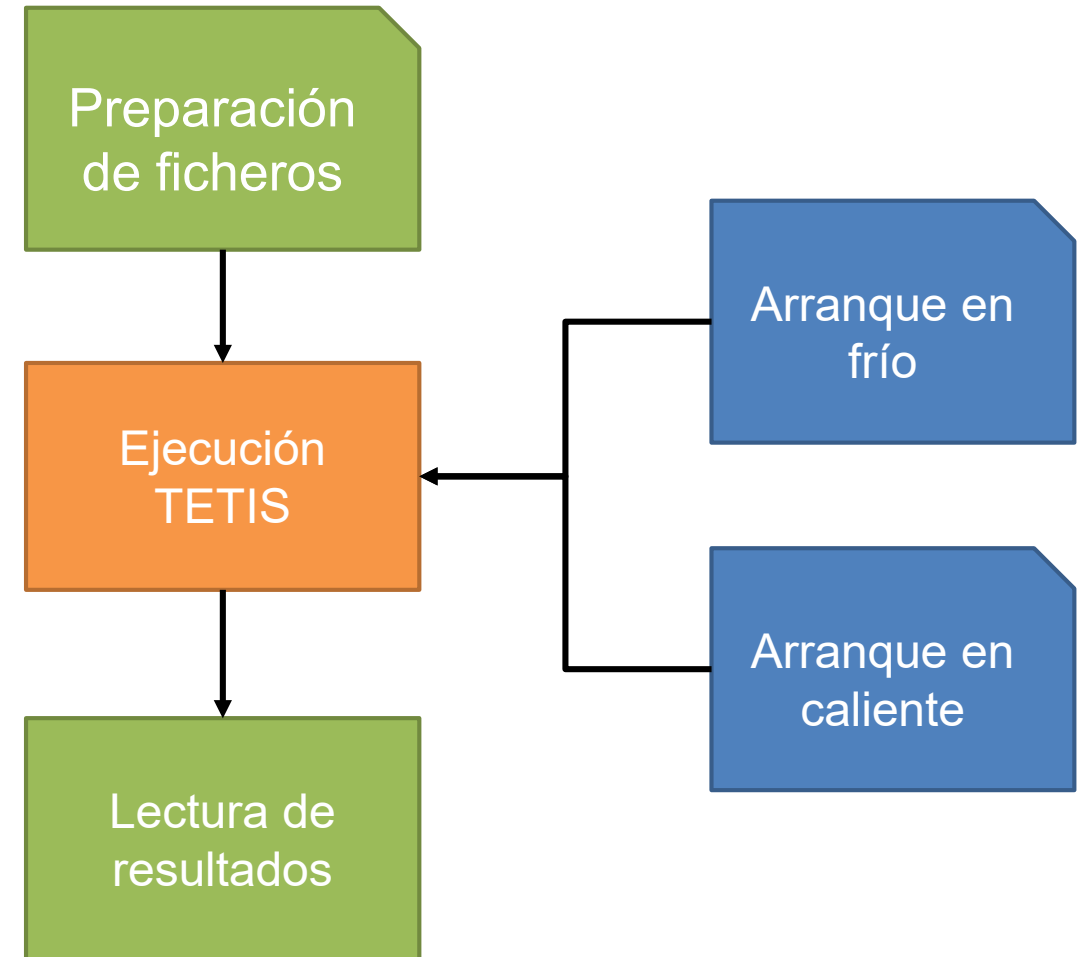
- Cuenca Albuñón
- Cuencas Norte
- Cuencas Sur
- Ramblas externas

❑ Resultados de simulación:

- Puntos de caudal
- Mapa de recarga



- ❑ Preparación de ficheros input
 - Predicción meteorológica (P, t y ET0)
- ❑ Estado inicial
 - arranque en frío (con calentamiento)
 - arranque en caliente (gestión estado inicial)
- ❑ Lanzamiento predicción
- ❑ Lectura y almacenamiento de resultados

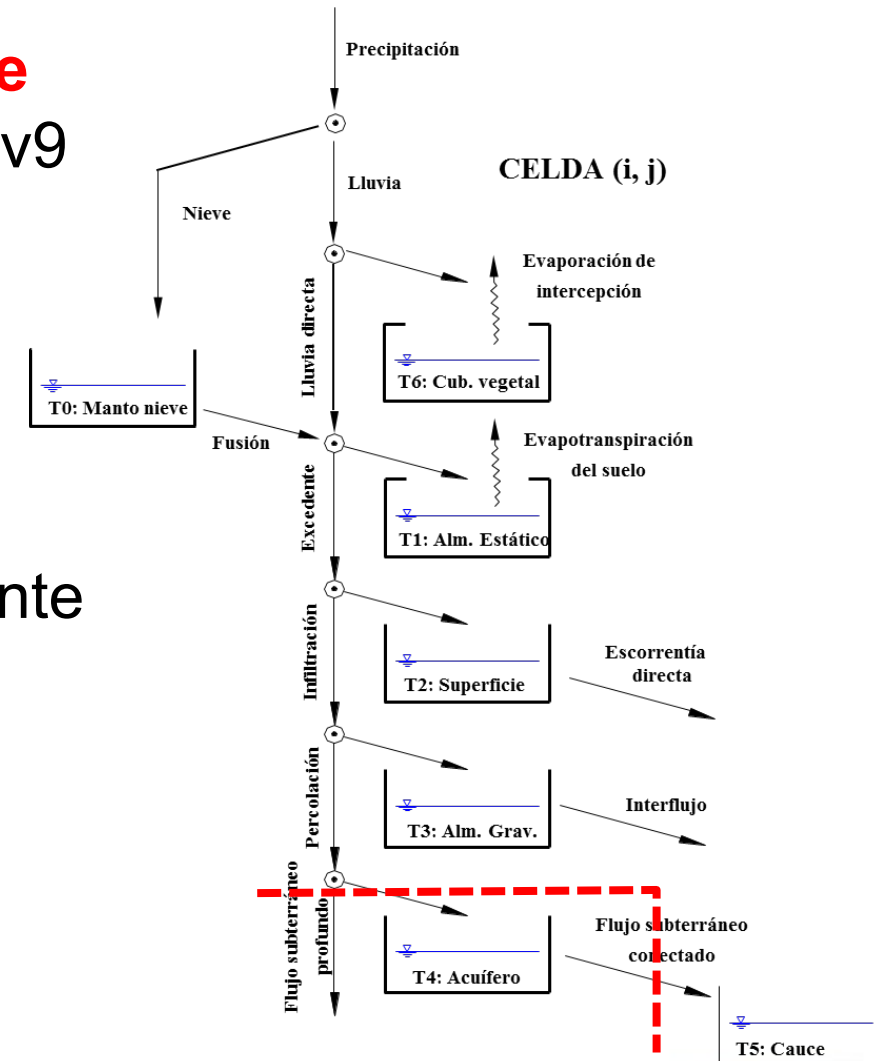


- ❑ Estimación de parámetros:
 - Construcción del MED corregido
 - Análisis de los usos del suelo
 - Mapas de parámetros hidrológicos
 - Mapas de parámetros sedimentos
 - Parámetros y mapas del N
 - Riego, abono y rotación de cultivos
- ❑ Calibración y validación del modelo en simulación histórica



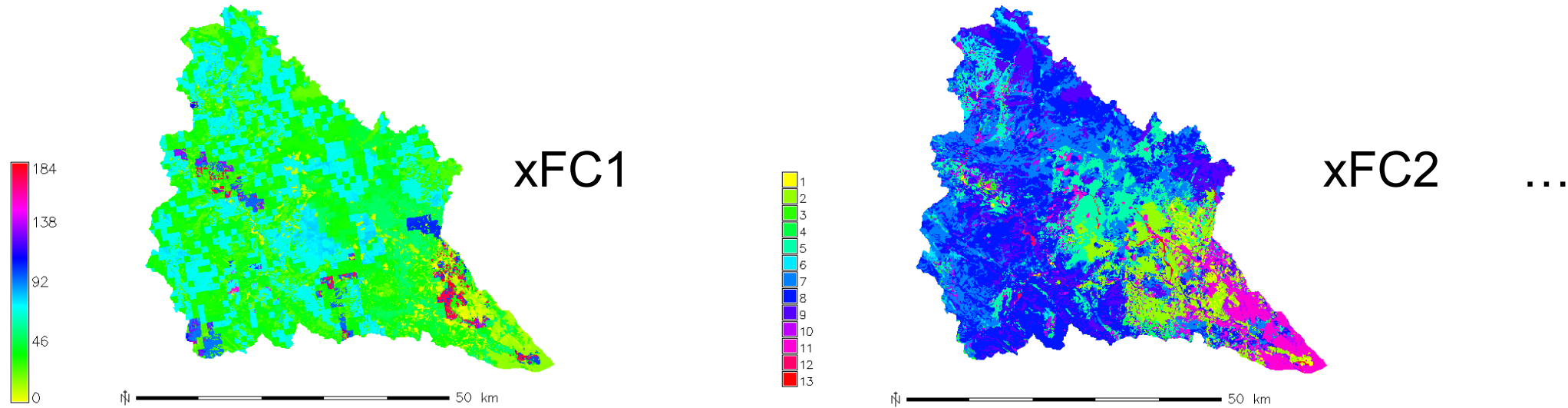
La herramienta: modelo TETIS

- ❑ Modelo hidrológico, conceptual con **parámetros de base física**, desarrollado por la UPV desde 1994 (v9 en la web)
- ❑ **Distribuido en el espacio:**
 - => Reproducción variabilidad espacial
 - => Reducción efecto de escala espacial
 - => Explotación toda la información espacial existente
- ❑ Modelo **integral**: recursos, crecidas, erosión, vegetación dinámica, N, producción agrícola, embalses, nieve, ...
 - => Considera las interacciones posibles



Francés et al. (2007)

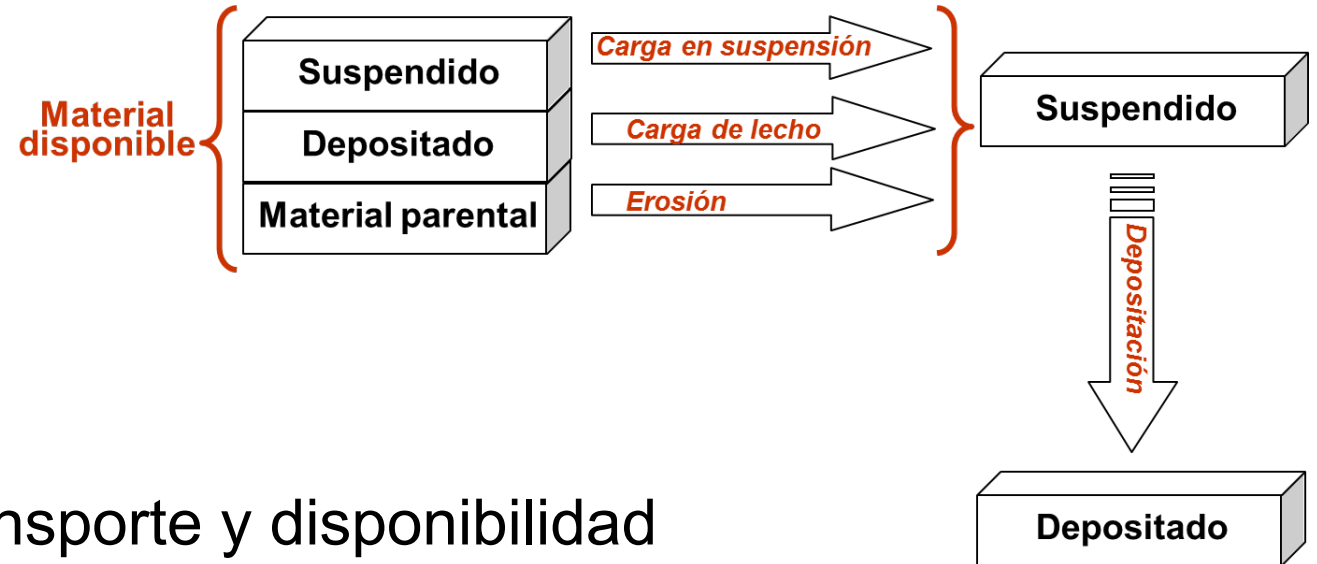
- Presenta una estructura separada de sus **parámetros efectivos**:



- Facilidad de calibración al reducir las variables a optimizar
- Potente algoritmo de autocalibración

Francés et al. (2007)

- ❑ 3 tanques adicionales:



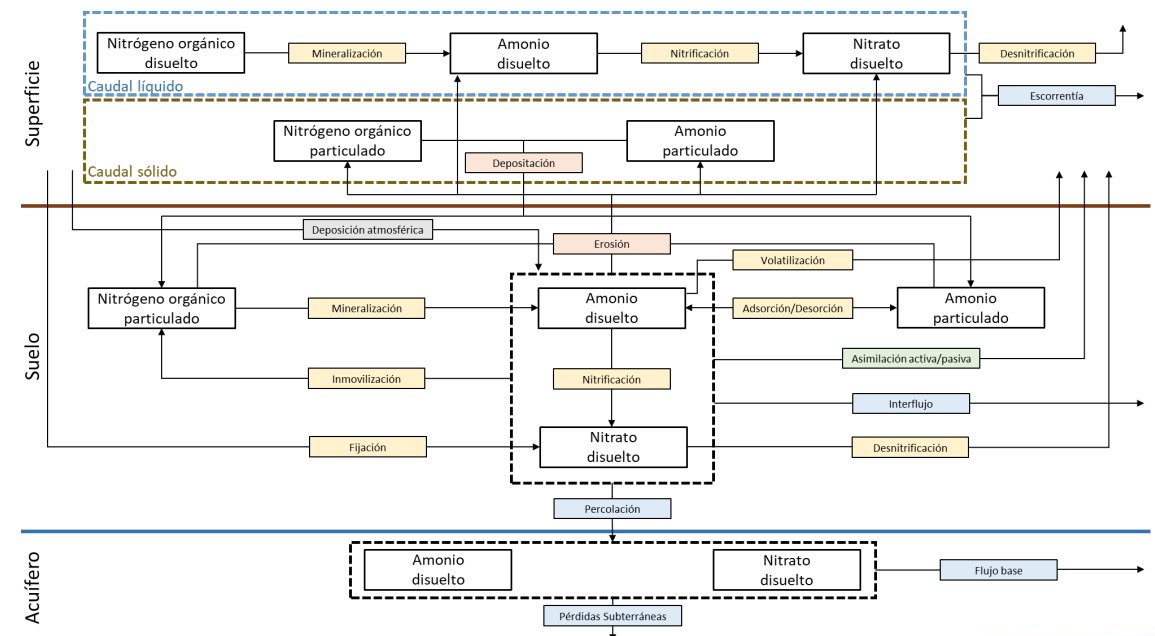
- ❑ Balance entre capacidad de transporte y disponibilidad de sedimentos
- ❑ Capacidad de transporte en laderas: modificación de Kilinc – Richardson equation (Julien, 1995)

Bussi et al. (2013)

$$Q_h = \frac{1}{\gamma_s} W \alpha S_o^{1.66} \left(\frac{Q}{W} \right)^{2.035} \frac{K}{0.15} C P$$

Modelo TETIS: ciclo de nitrógeno

- ❑ 9 tanques adicionales
- ❑ Cinéticas de primer orden (corrección humedad y temperatura)
- ❑ Conexión con:
 - Modelo hidrológico: movimiento advectivo
 - Submodelo de sedimentos
 - Submodelo cultivos



Puertes et al. (2020)

- ❑ Basado en el cálculo del nitrógeno crítico (Rahn et al., 2010)

- Nitrógeno mínimo para máximo crecimiento

$$N_{crit} = a(1 + be^{-0.26W})$$

- ❑ Simula el crecimiento a partir de la variable de estado “materia seca”

$$\Delta W = \frac{k_2 G_N G_T G_W W}{K_1 + W}$$

- ❑ Incluye limitaciones por:
 - Disponibilidad de agua para transpirar
 - Temperatura
 - Disponibilidad de nitrógeno

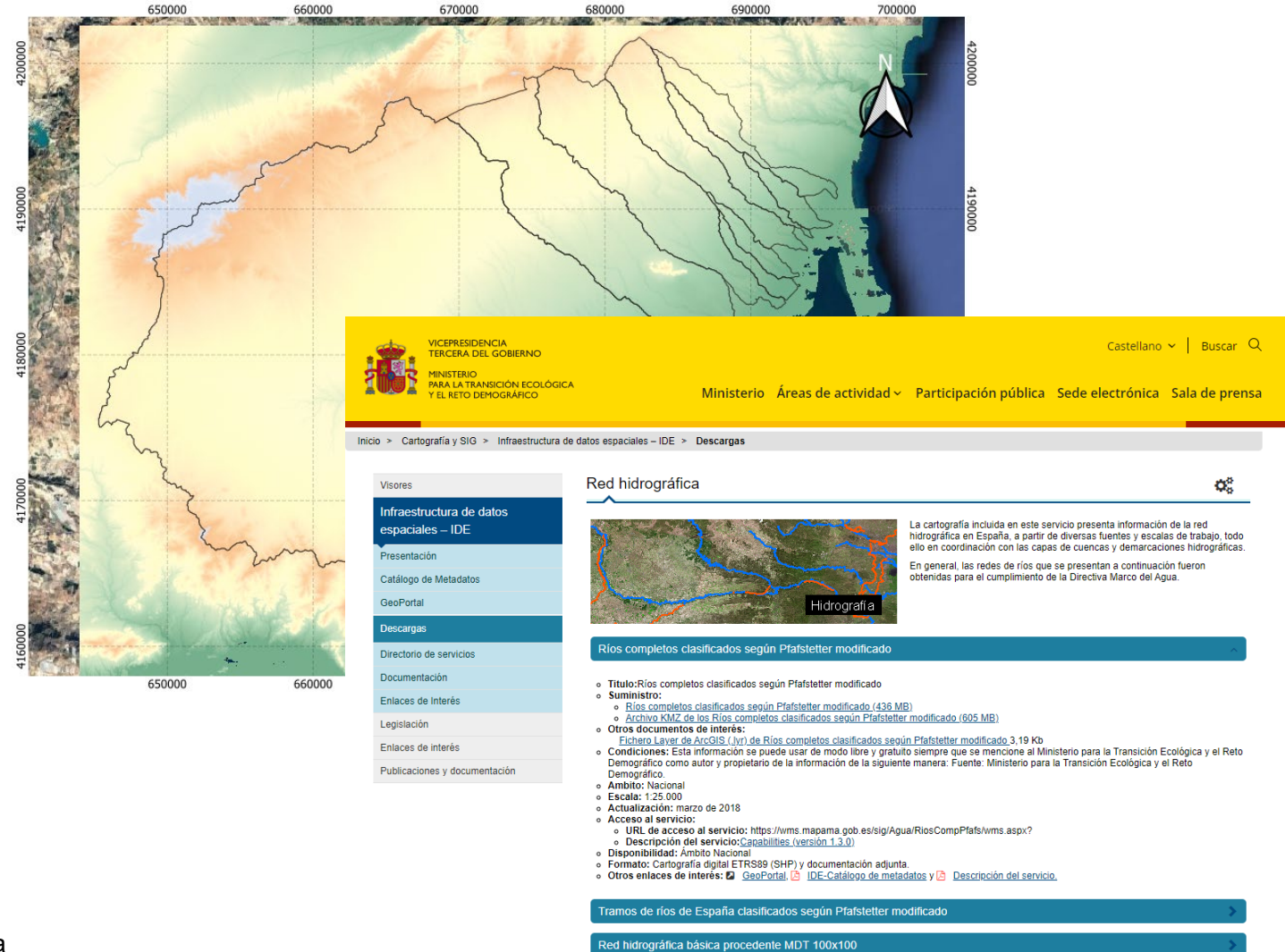
Puertes et al. (2021)

Estimación de parámetros

- ❑ MED y sus derivados
- ❑ Cubierta del suelo
 - Coeficiente vegetación
 - Intercepción
 - Capa invernaderos
- ❑ Suelo
 - $H_u = AWC + \text{charcos}$ (corrección aterrizados)
 - K_s (corrección zonas urbanas)
 - K_p
- ❑ Propagación
 - Velocidad en ladera
 - Red fluvial: parámetros hidrogeomorfológicos

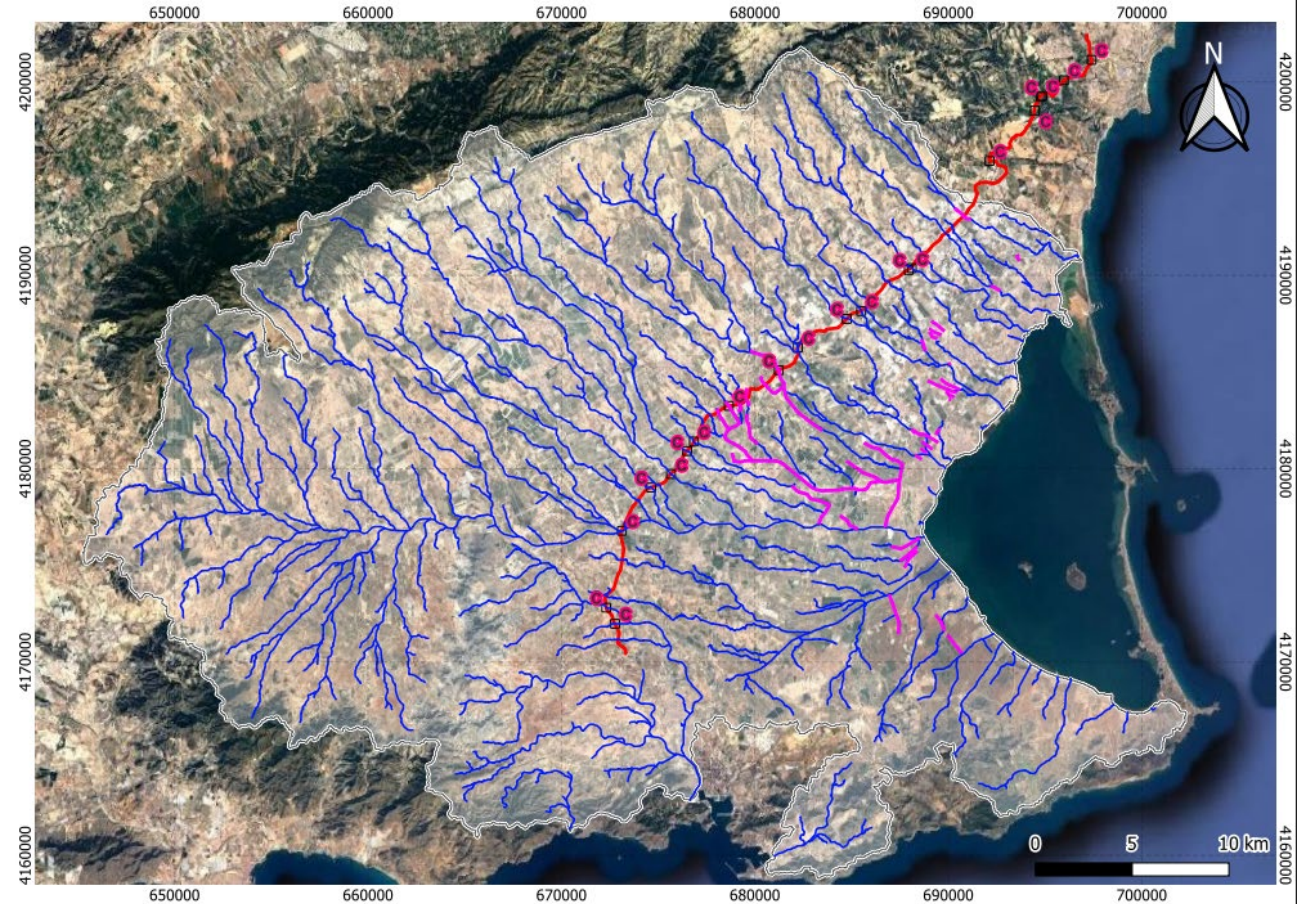


- ❑ Centro Nacional de Información Geográfica de España
 - Resolución 25x25m
- ❑ Mapa de Líneas Azules definido por el MITECO
 - Método de Pfafstetter modificado
 - Escala 1:25.000
 - Actualizado marzo 2018



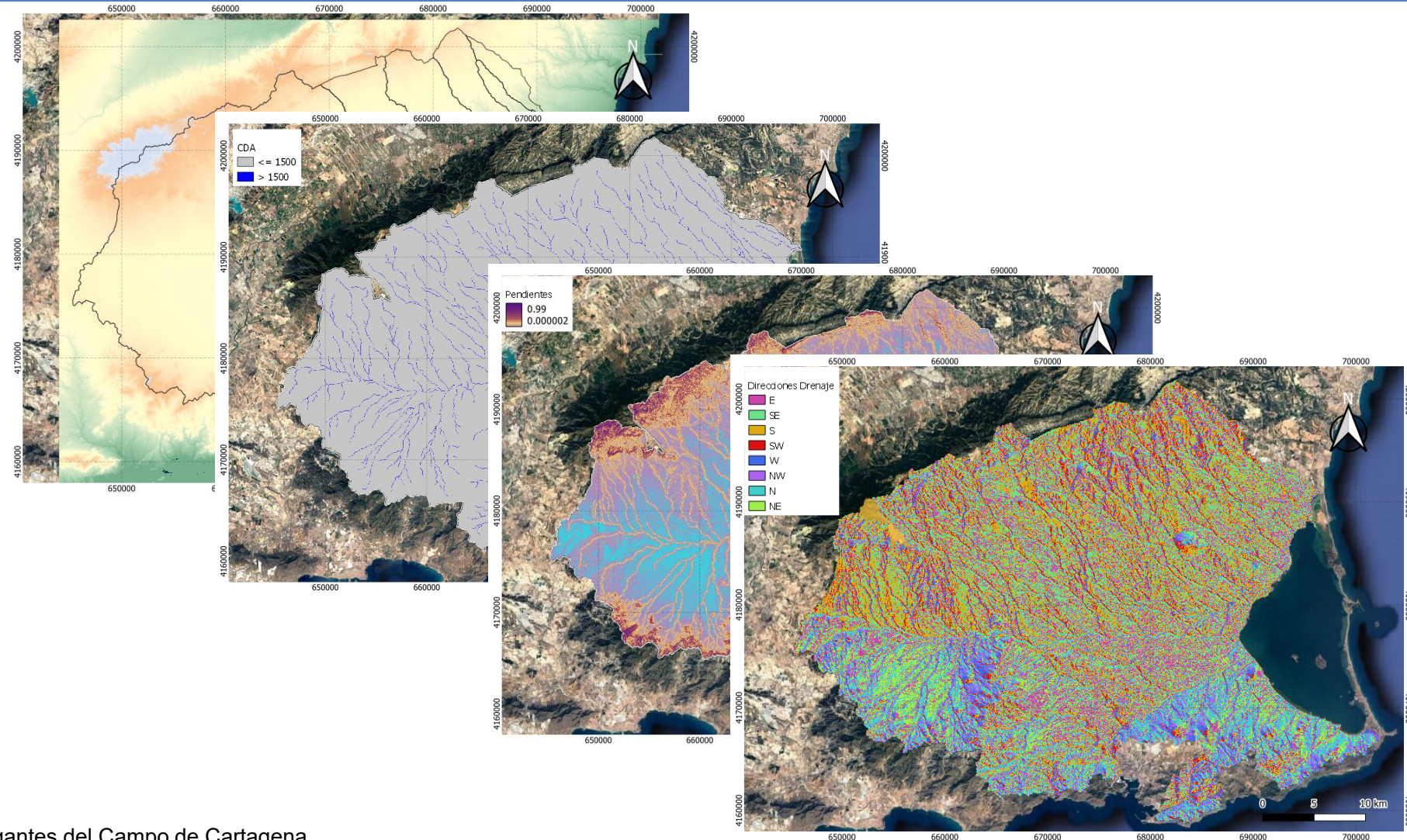
CRCC: Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena

- ❑ Acondicionamiento MED mediante método AGREE de 3 parámetros considerando Mapa de Líneas Azules
- ❑ Revisión visual de interferencias / modificaciones en cauces por elementos antrópicos
 - Canal Tajo-Segura
 - Alcantarillas de autopista y carreteras
 - Canales de riego, tomando como referencia mapas disponibles de CRCC*



CRCC: Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena

- ❑ MED
- ❑ Celdas drenantes acumuladas
- ❑ Pendientes
- ❑ Direcciones de Drenaje

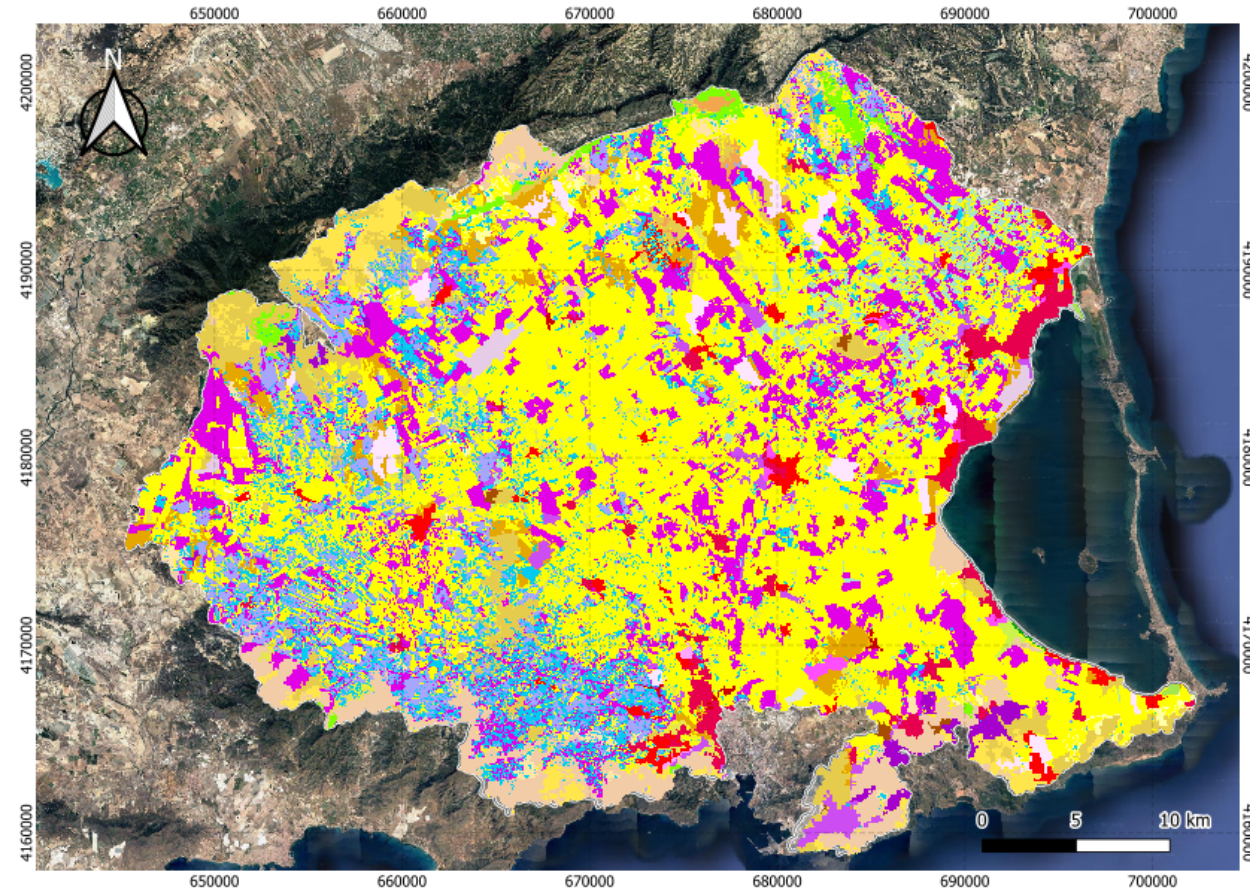


CRCC: Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena

- Combinación de mapa CORINE 2018 + SIGPAC2022 + consideraciones específicas

➤ 31 usos de suelo diferentes. Principales:

Uso Suelo	Area [km ²]	% Área
Continuous urban fabric	30	2.1%
Discontinuous urban fabric	21	1.5%
Industrial or commercial units	20	1.4%
Mineral extraction sites	9	0.6%
Campo de Golf	22	1.5%
Non-irrigated arable land	34	2.4%
Hortícola Aire Libre	574	40.5%
Citricos	210	14.8%
Olive groves	3	0.2%
Pastures	41	2.9%
Complex cultivation patterns	32	2.3%
Coniferous forest	31	2.2%
Natural grasslands	65	4.6%
Sclerophyllous vegetation	61	4.3%
Transitional woodland-shrub	13	0.9%
Frutales de Hueso	114	8.0%
Invernaderos	29	2.1%
Frutales de cáscara	78	5.5%



- ❑ Necesidad de identificar áreas con invernaderos por cambios en:
 - Se reduce la ET0
 - Impermeable, pero almacenamiento de 100 mm
- ❑ Clasificación visual (apoyado por información disponible en SIGPAC 2022)
- ❑ Principalmente en la zona norte del Campo de Cartagena
- ❑ Área total de aproximadamente 32 km²



□ Conocido como factor de cultivo para la ET de FAO

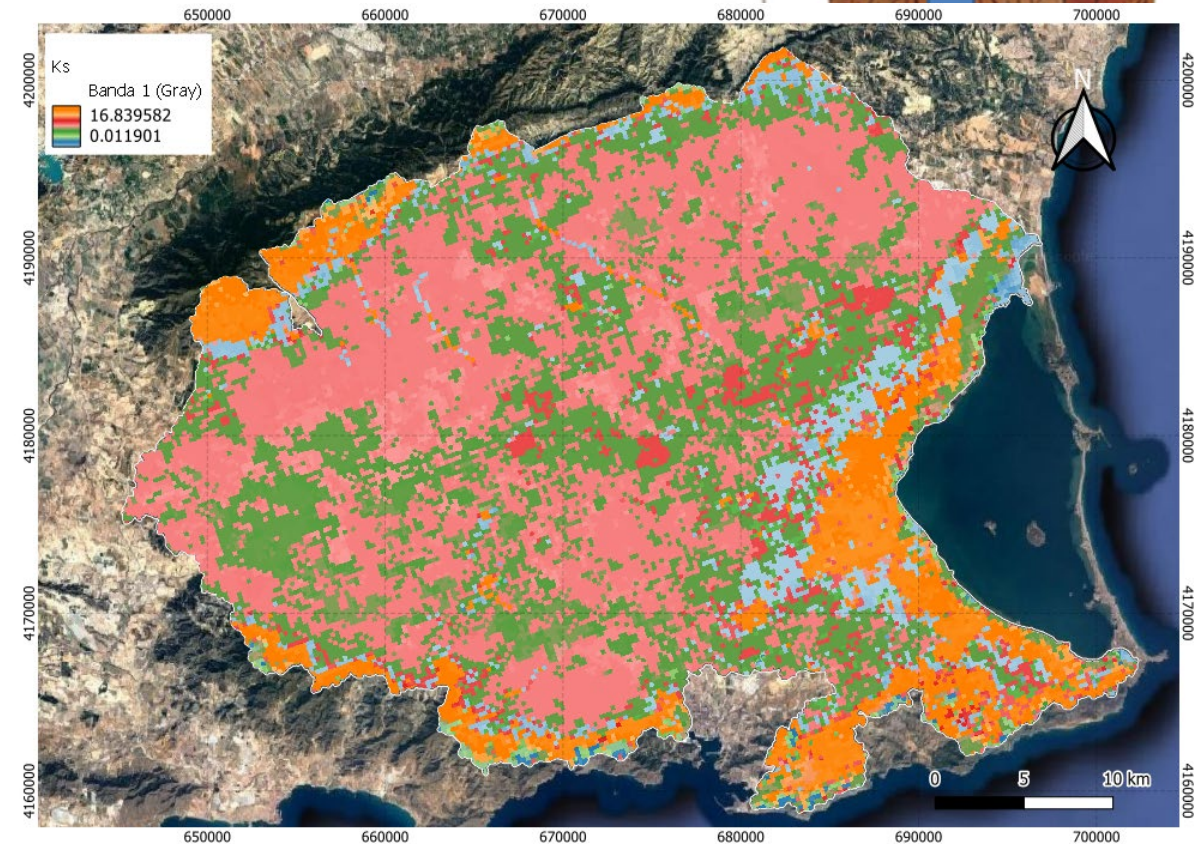
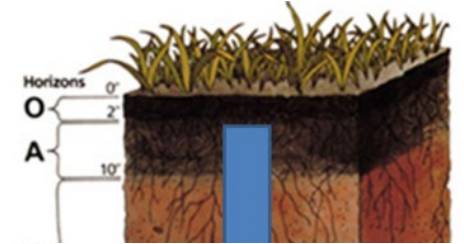
$$ET = ET_0 \lambda_v K_h(\theta)$$

Uso Suelo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Continuous urban fabric	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Discontinuous urban fabric	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Industrial or commercial units	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mineral extraction sites	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Campo de Golf	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Non-irrigated arable land	0,2	0,2	0,2	0,37	0,82	0,89	0,8	0,29	0,2	0,2	0,2	0,2
Hortícola Aire Libre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Citricos	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Olive groves	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Pastures	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Complex cultivation patterns	0,2	0,2	0,37	1,04	1,15	1	0,32	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Coniferous forest	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Natural grasslands	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Sclerophyllous vegetation	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Transitional woodland-shrub	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Frutales de Hueso	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Invernaderos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Frutales de cáscara	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85

- ❑ 3D soil hydraulic database (250m)
 - Valores de Ks para las 7 profundidades

$$1/k_s = (1/L_s) \sum b_i/k_i$$

- Algebra de mapas en SIG
- Corrección zonas urbanas



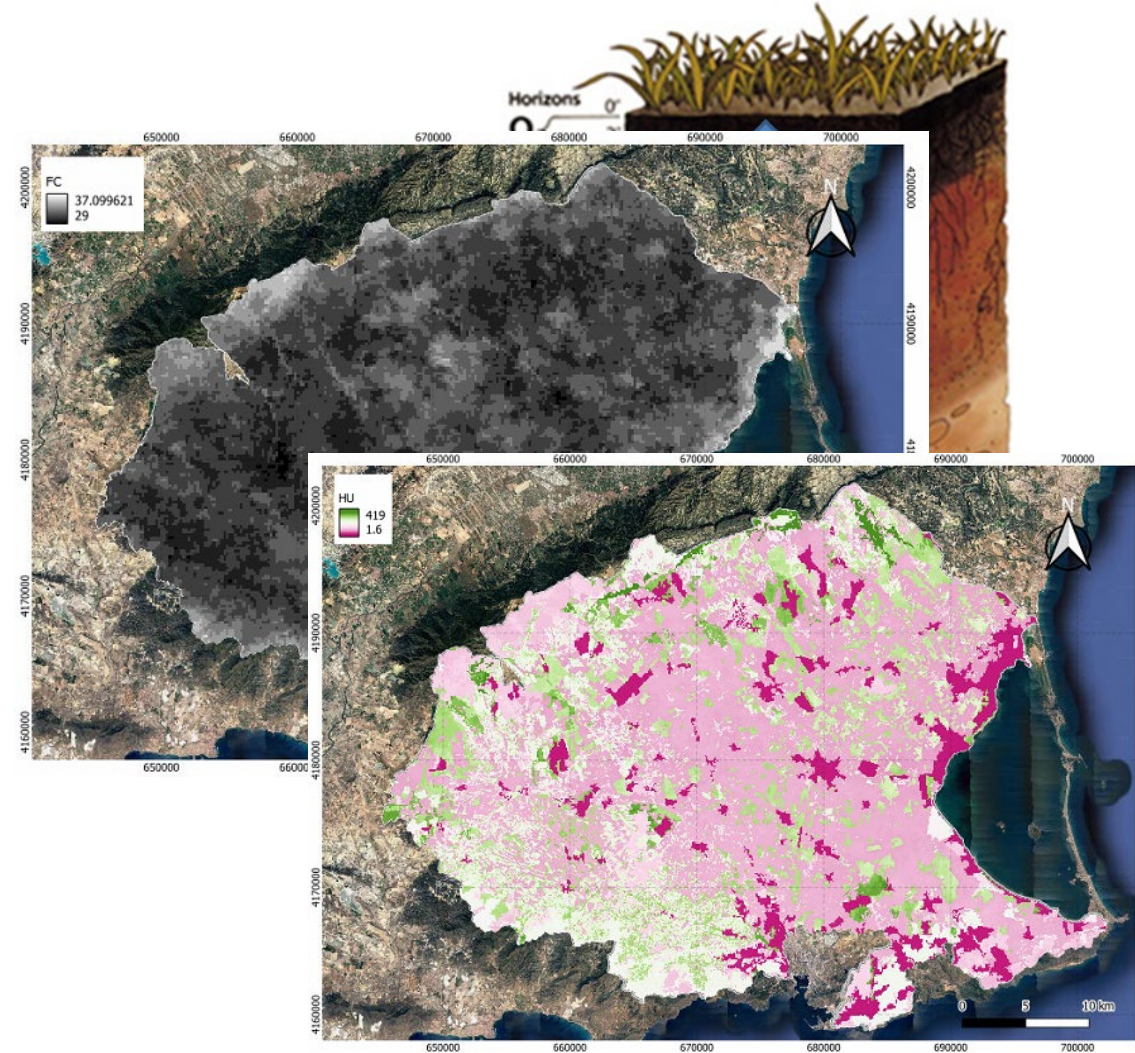
Capacidad de agua capilar AWC

- ❑ 3D soil hydraulic database (250m)
- ❑ Capacidad de campo – punto de marchitez

$$AWC = \sum_{i=1}^r b_i (CC_i - PM_i)$$

$$z_e = \sum_{i=1}^r b_i$$

- ❑ Algebra de mapas en SIG
- ❑ Corrección zonas urbanas



Capacidad almacenamiento estático (Hu)

AWC

- Prof. Raíces
- (capacidad de campo – punto de marchitez)

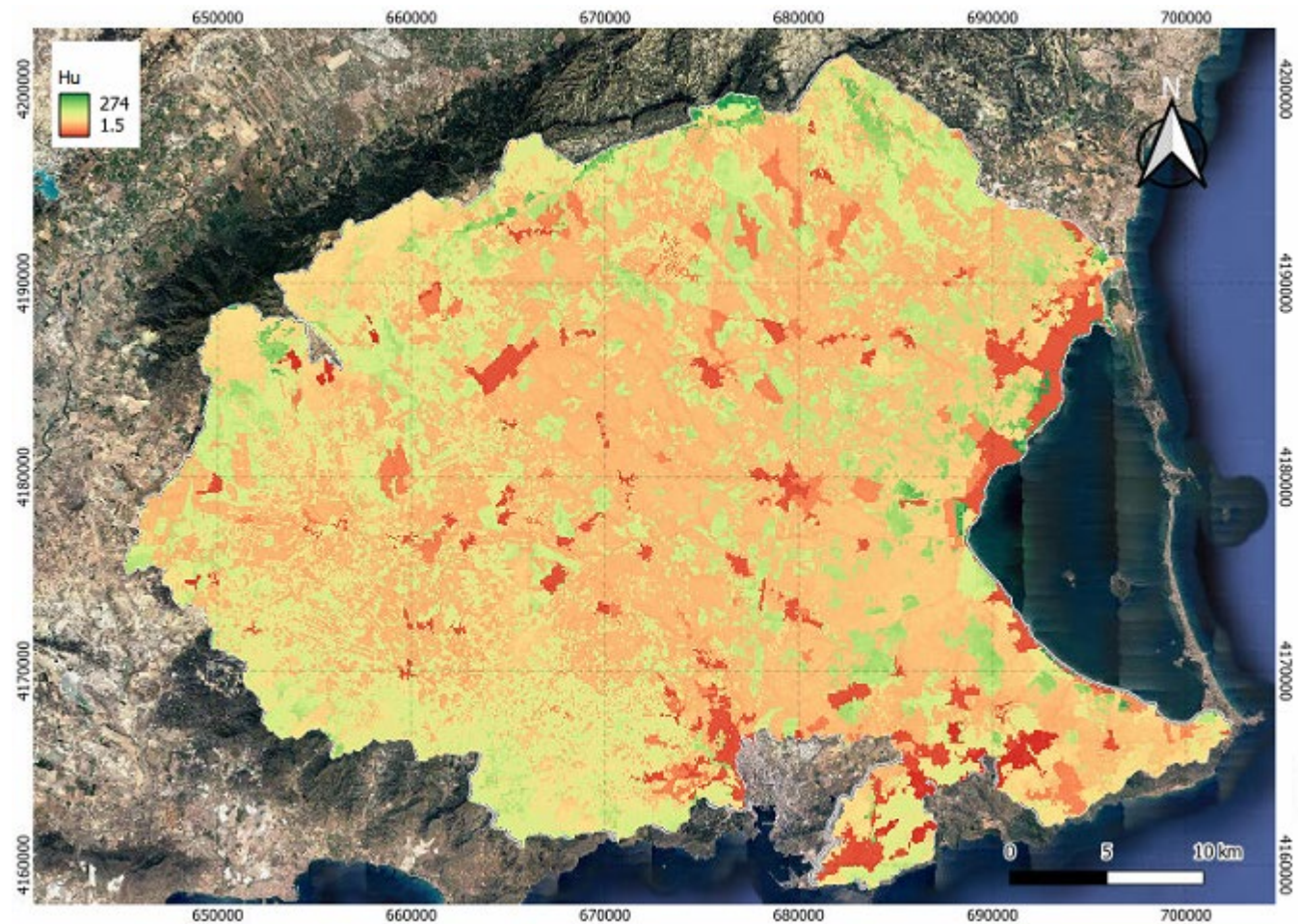


Charcos

- Pendiente
- Cubierta suelo (microtopografía)

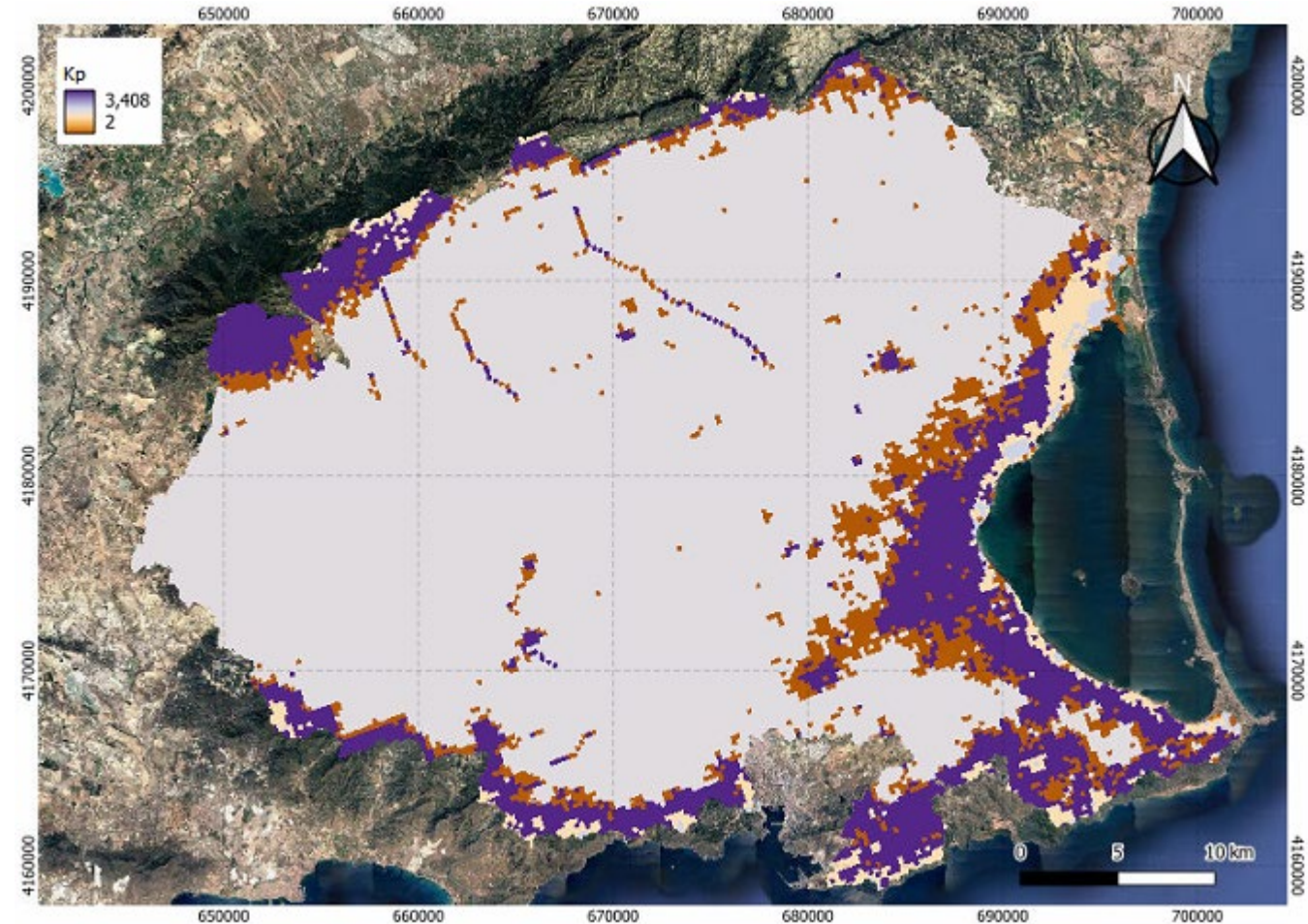
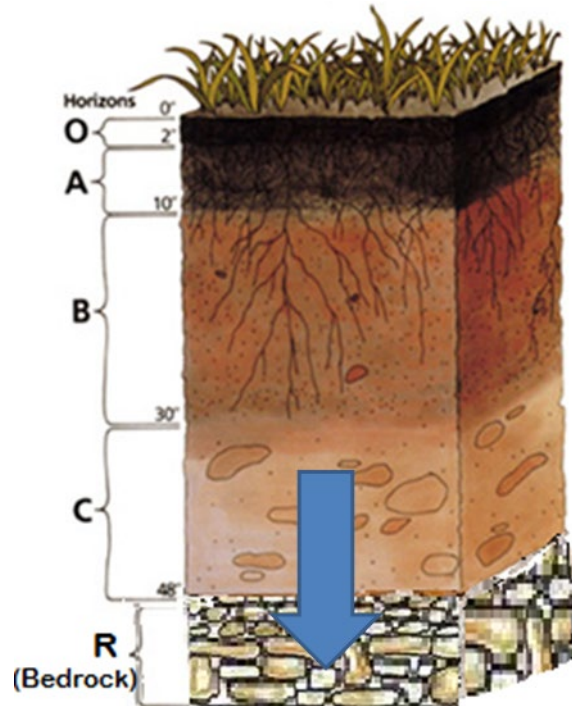


Hu

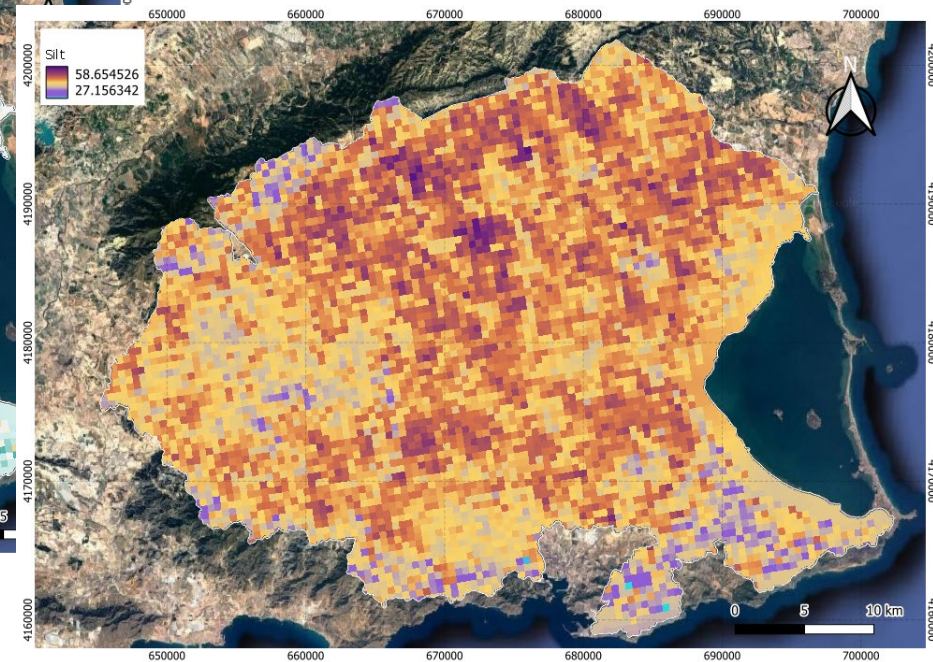
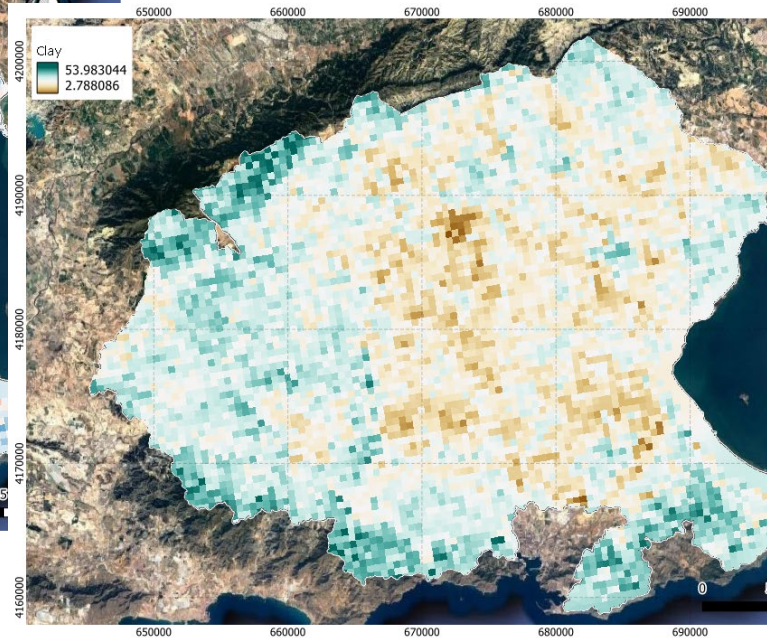
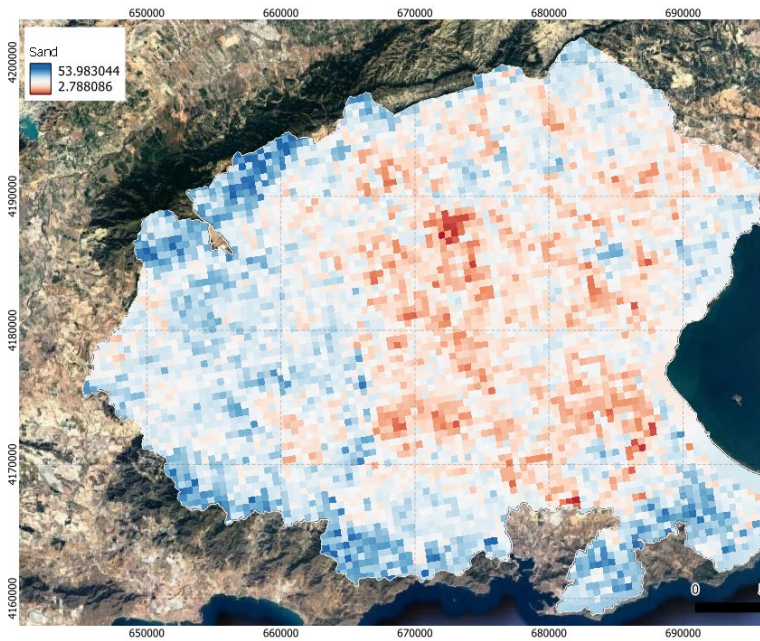


Capacidad de percolación Kp

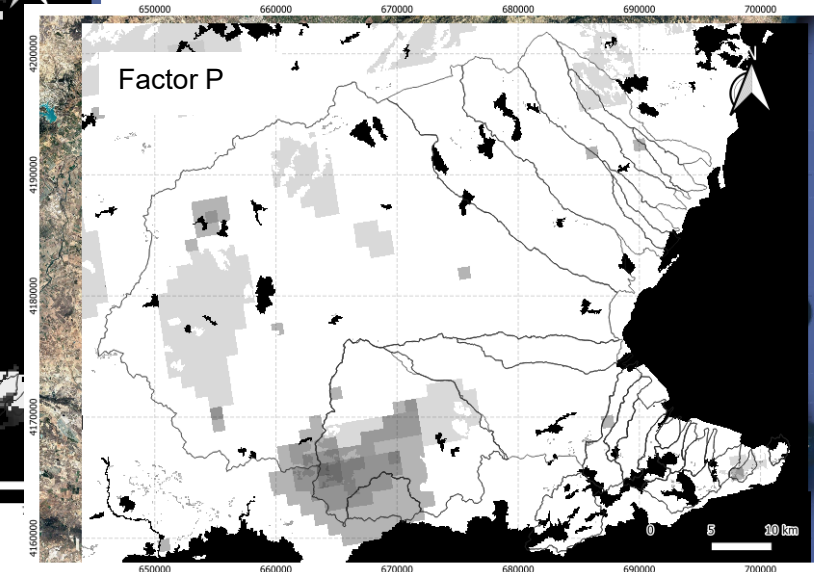
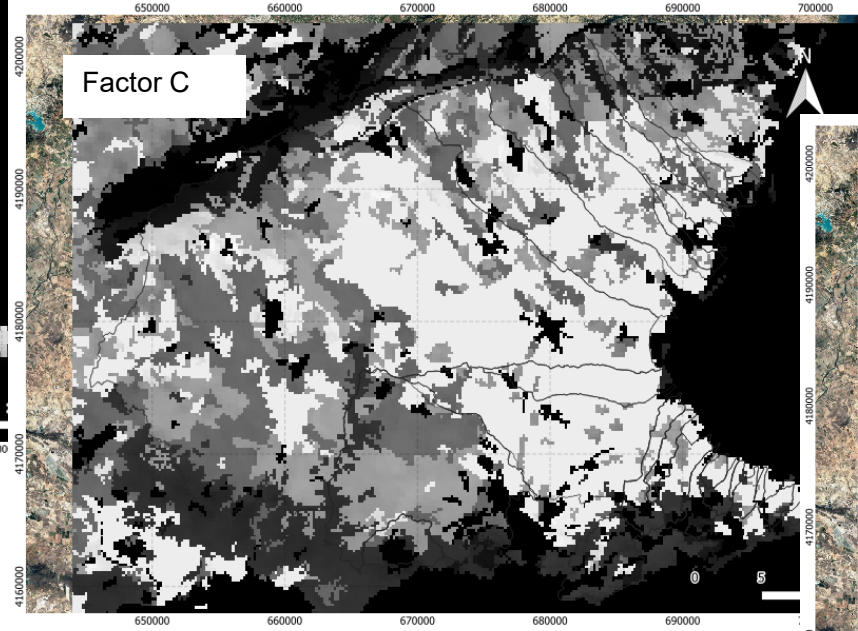
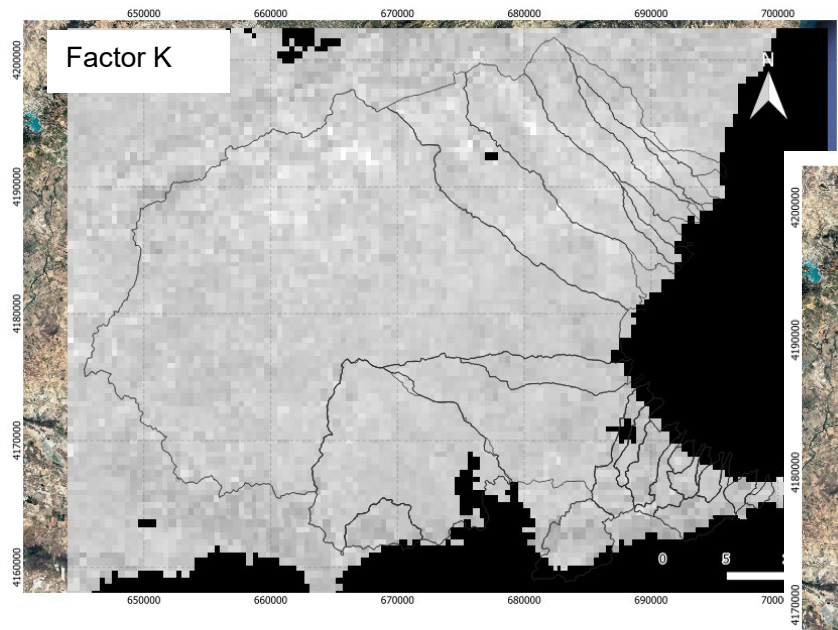
- ❑ 3D soil hydraulic database (250m)
- ❑ Ks horizonte más profundo



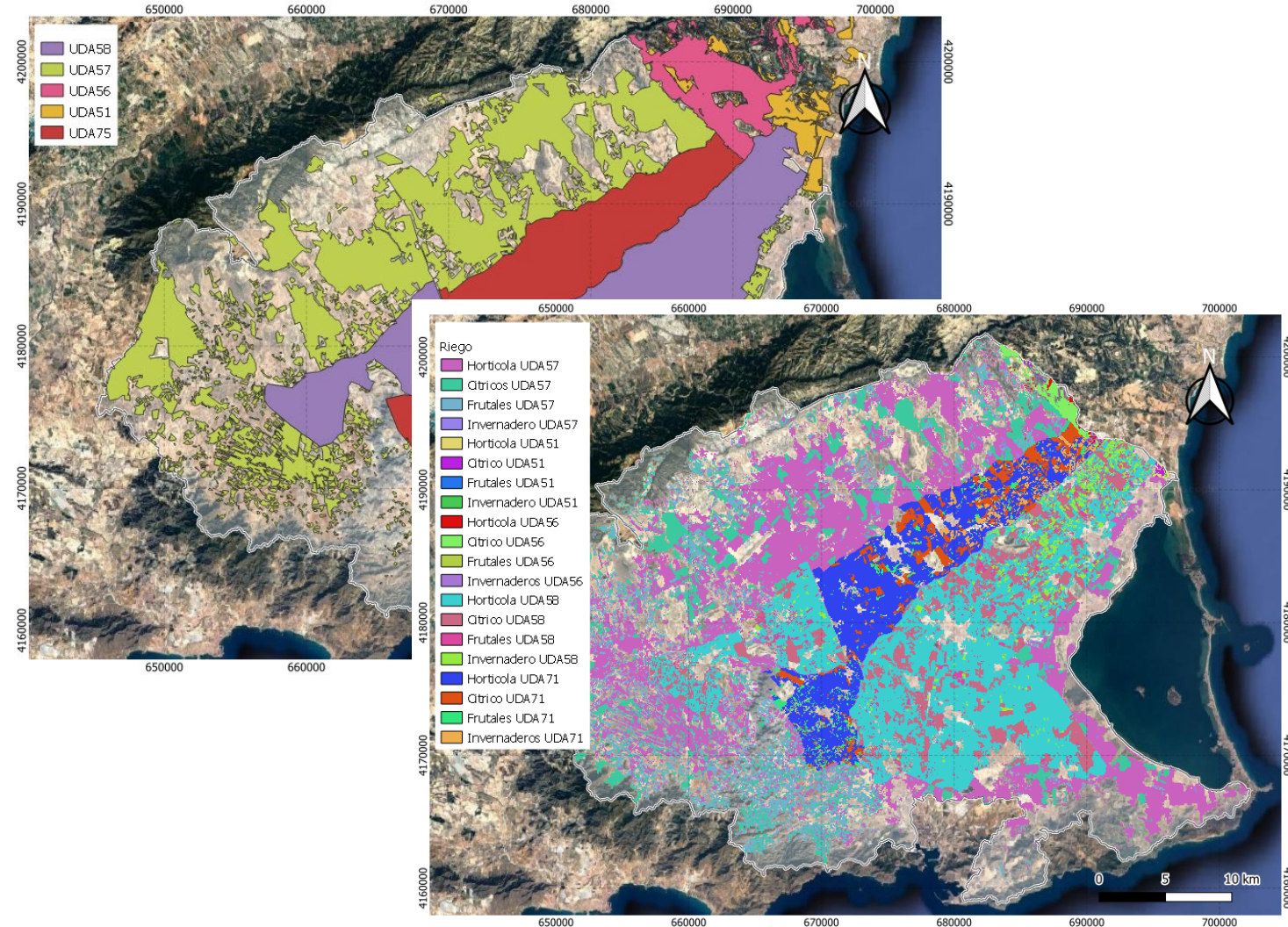
- ❑ European Soil Data Centre (ESDAC):
 - Textura del suelo (arena, limo y arcilla)



- ❑ European Soil Data Centre (ESDAC):
 - Factores de la USLE: K, C y P



- ❑ Plan Hidrológico del Segura
- ❑ Dotación según mapa UDAs de la zona (5)
- ❑ Usos de suelo con riego: 4
- ❑ Mapa total de riegos: 20 zonas
- ❑ Parametrización:
 - Rotación de cultivos
 - Dotaciones de riego
 - Abono



□ Parametrización estudio 2016-2018

➤ Rangos de parámetros ajustados según demandas potenciales (2002-2011)

Uso del suelo	Asimilación media (kgN/ha)	Demanda potencial (kgN/ha)
Tejido urbano continuo	0	0
Tejido urbano discontinuo	6.9	7
Zonas de extracción minera		
Escombreras y vertederos		
Zonas en construcción		
Instalaciones deportivas y recreativas		
Tierras de labor en secano		
Terrenos regados permanent.		

Uso del suelo	Asimilación media (kgN/ha)	Demanda potencial (kgN/ha)
Árboles frutales	276.5	250
Mosaico de cultivos	42.1	40
Terrenos agrícolas con vegetación natural	27.2	33
Bosque de coníferas	39.8	47
Vegetación esclerófila	18.7	19
Matorral boscoso de transición	23.8	24
Espacios de vegetación escasa	8.2	8
Marismas	11.5	10

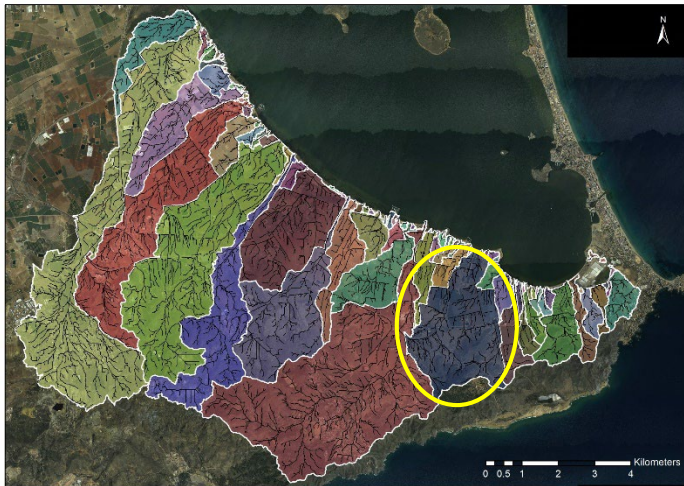
➤ Validación con producción histórica:

	Materia seca (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Validación (2002-2016)
Brócoli	8.7	-8.6%
Melón	1.0	-4.9%
Lechuga	3.3	-5.5%

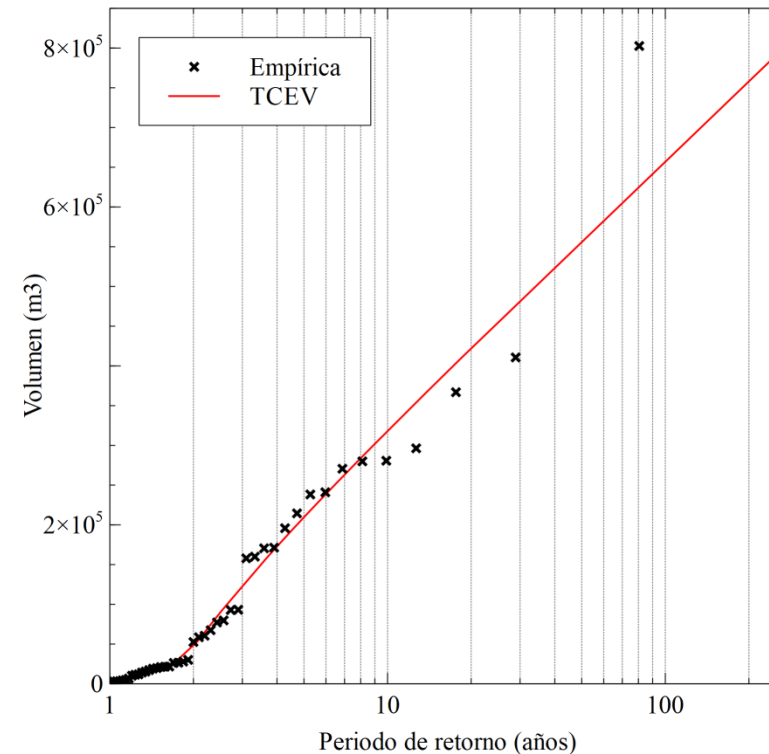
Calibración y validación

□ Hidrología superficial (calibración inicial Estudio 2016-18)

- Estudio de inundabilidad de la Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente de la Región de Murcia



Vol. (T=25 años)	
Estudio inundabilidad	457.000 m ³
Calibración	455.016 m ³

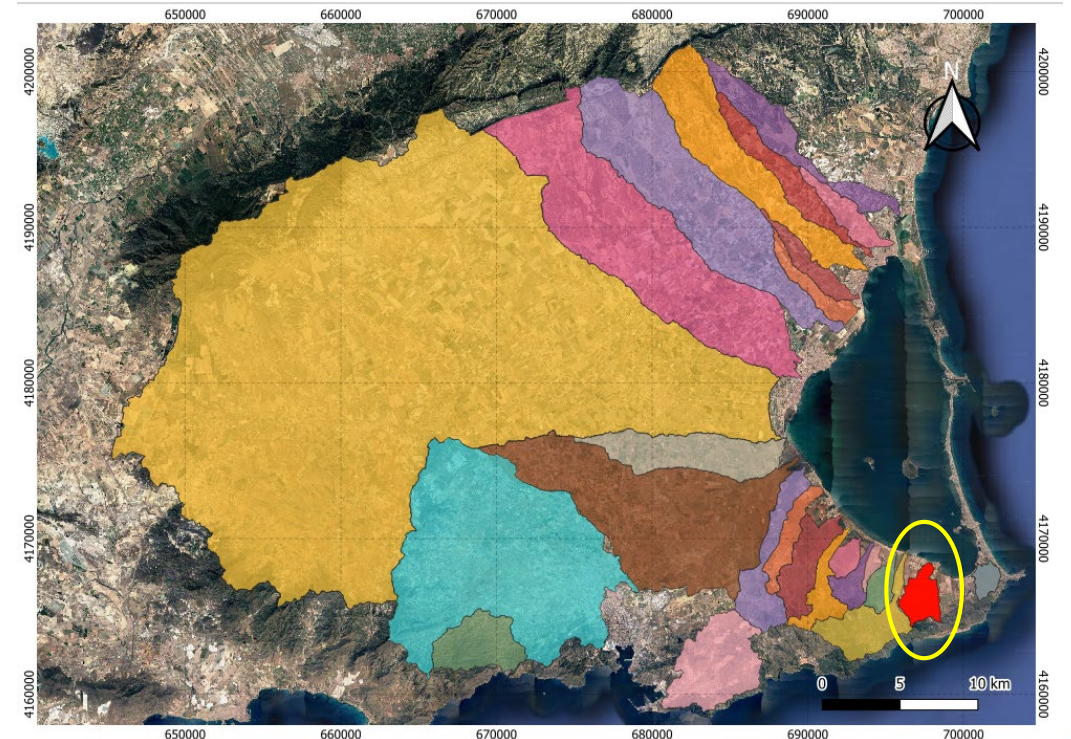


□ Calibración FCs sedimentos

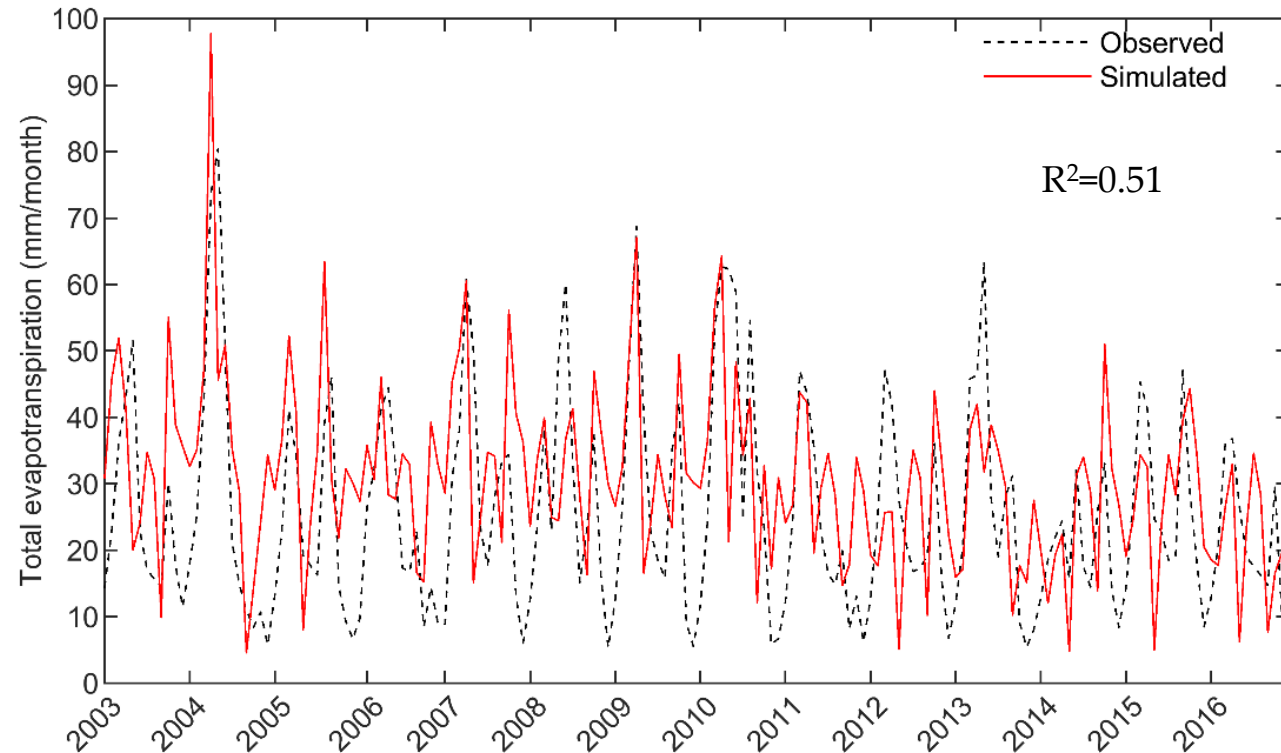
- Se utiliza una cuenca del Sur, igualando la pérdida de suelo obtenida por la USLE con la pérdida de suelo media anual de TETIS

Parámetros USLE	
R	100 hJ cm m ⁻² h ⁻¹ año ⁻¹
K	0.38 t m ² h ha ⁻¹ hJ ⁻¹ cm ⁻¹
LS	2.5
C	0.1
P	1

Erosión media anual	
USLE	9.29 t/ha
Calibración	9.27 t/ha



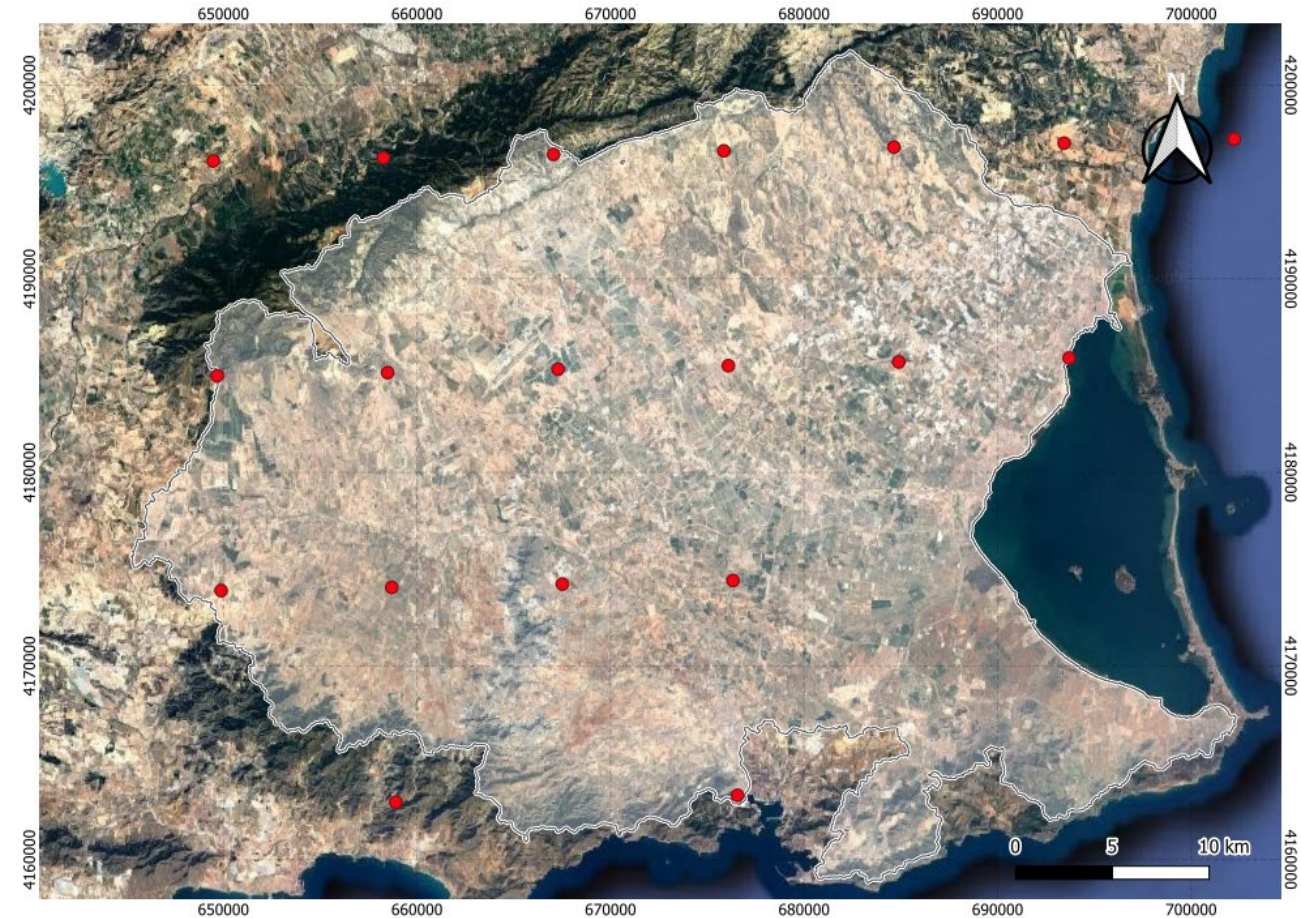
❑ Comparación con ET de satélite



Resultado estudio 2016-18, sólo cuencas del Sur

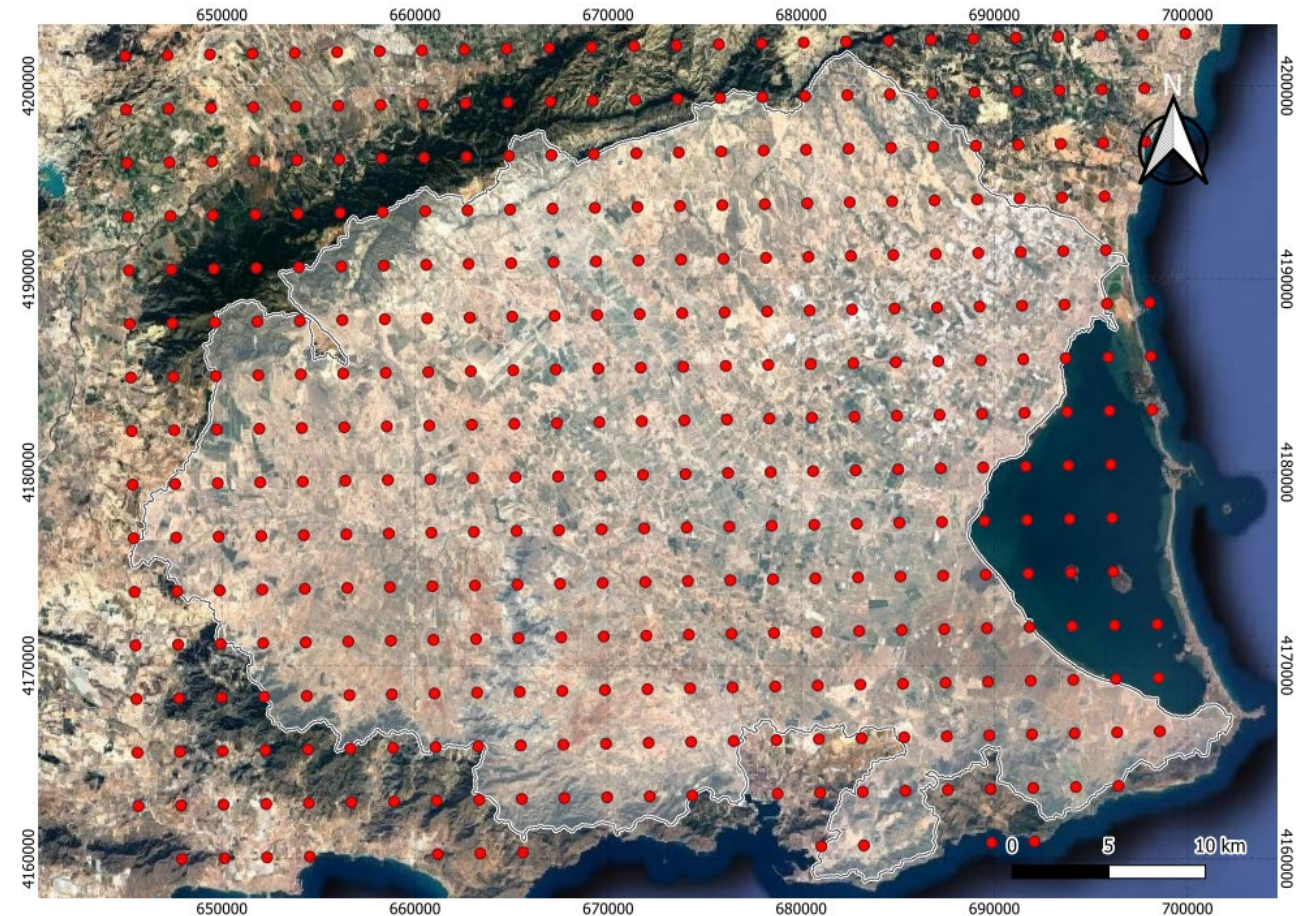
□ ERA5LAND

- Mallado cada 10km
- Δt diario
- Ventana 1-ene-14 a 31-ago-22
- Variables:
 - Precipitación
 - Temperatura a 1m sobre suelo
 - ET0 por Hargreaves

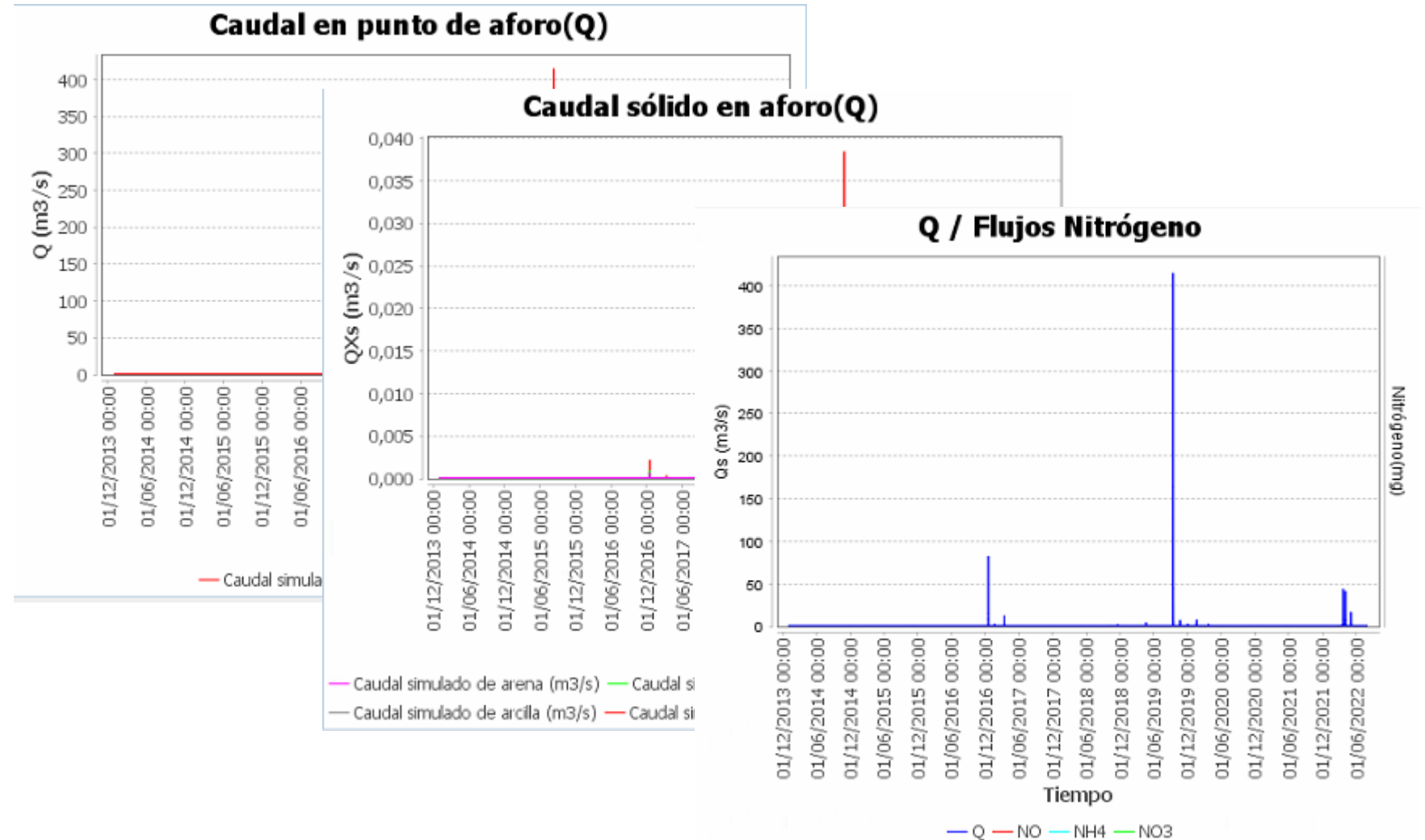


□ HARMONIE

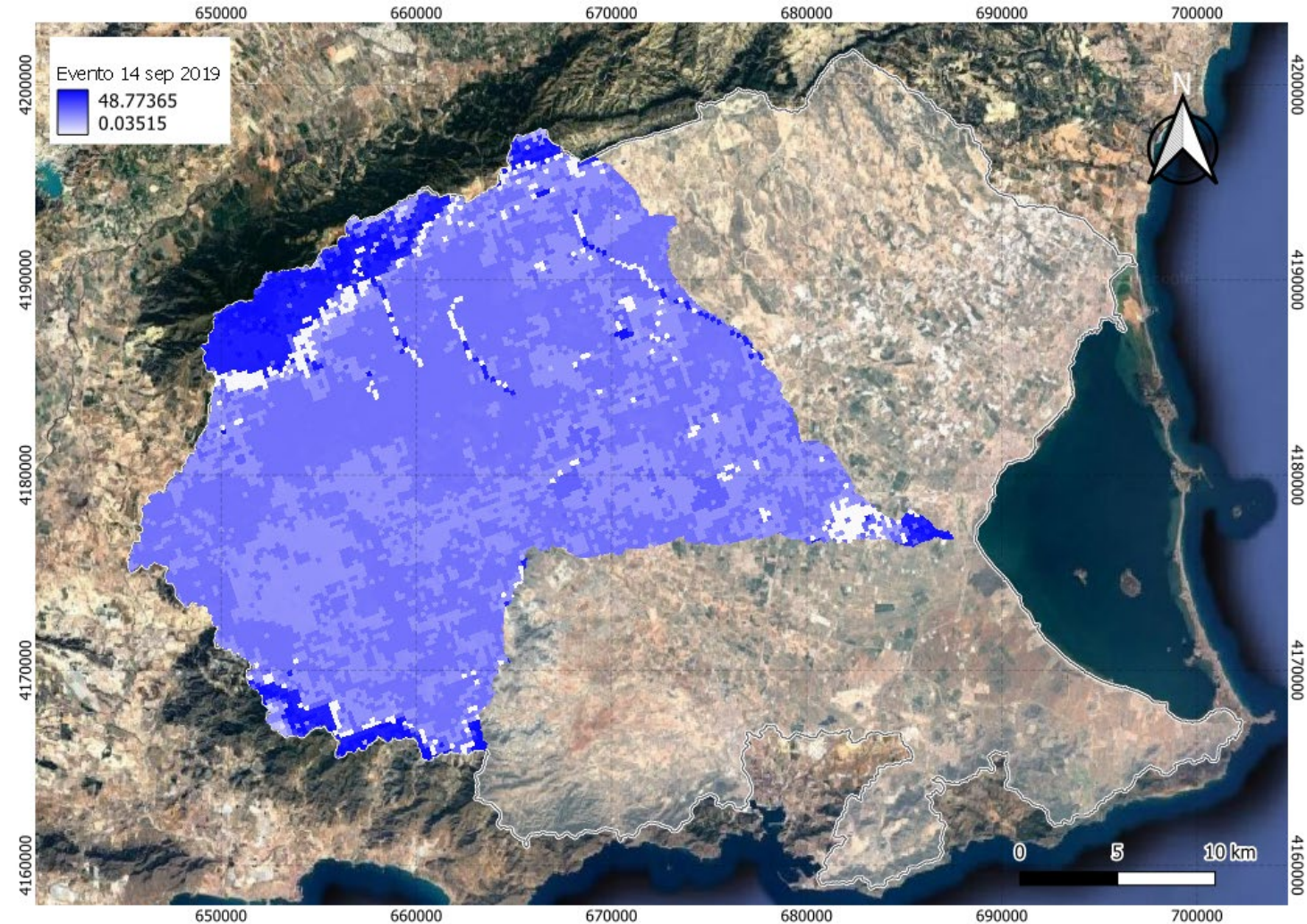
- Mallado cada 2.5km
- Δt diario
- Ventana 1-oct-20 a 31-ago-22
- Variables:
 - Precipitación
 - Temperatura a 1m sobre suelo
 - ET0 por Hargreaves



- ❑ Cuenca Albuñón
- ERA5LAND
 - Caudales
 - Sedimentos
 - Nitrógeno
 - Mapa de Percolaciones



- ❑ Cuenca Albuñón
ERA5LAND
 - Caudales
 - Sedimentos
 - Nitrógeno
 - Mapa de Percolaciones



- ❑ Resultados preliminares satisfactorios (agua, sedimentos y nitrógeno)
- ❑ Pendiente calibración y validación (agua) con datos SAIH y ET de satélite
- ❑ Futuro:
 - Mejorar aspectos puntuales modelo
 - Calib y valid sedimentos
 - Calib y valid conjunta con modelo subterráneo
- ❑ Adaptación a predicción estacional (ej. Copernicus con 7 meses) y de simulación de escenarios futuros





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Muchas gracias por su atención

Grupo de investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental

lluvia.dihma.upv.es

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

Universitat Politècnica de València

